

المكتبة الأكاديمية

الفيزياء والفلسفة

فيرنر هايزنبرج

ترجمة

دكتور أحمد مستجير

المكتبة الأكاديمية

الفيزياء والفلسفة

مقدمة بقلم
بول دافيز (١٩٨٩)

ليست الثورات الحقيقية فى العلم مجرد اكتشافات مذهلة وتقدمات سريعة فى التفهم. إنها أيضا تُغير المفاهيم التى عليها يبنى الموضوع، ولقد حدث مثل هذا التحول الجذرى فى علم الفيزياء خلال السنين الثلاثين الأولى من هذا القرن، وبلغ أوجه فيما سُمّى "العصر الذهبى للفيزياء"، وكانت نتيجته أن تغيرت نظرة الفيزيائى للعالم تغيراً جذريا لايُعكس.

تضمنت التطوراتُ التى أحدثت هذا الاضطراب الهائل صياغةَ نظريتين جديدتين تماما. كانت الأولى نظريةً عن الفضاء والزمن والحركة، اسمها النسبيه. أما الثانيه فكانت نظرية تختص بطبيعة المادة وطبيعة القوى التى تعمل عليها. ولقد نشأت هذه الأخيرة عن ملاحظة لماكس بلانك وجد فيها أن الاشعاع الكهرومغنطيسى ينبعث فى دفقات متميزة، أو كَمَّات. طُورت "نظرية الكم هذه فى العشرينات إلى نظرية عامة هى "ميكانيكا الكم". ولقد لعب مؤلف هذا الكتاب دورا قائدا فى الصياغة الأولى لميكانيكا الكم، ثم فيما تلاها من تعريف بتضميناتها الثوريه. وكلٌ مَنْ درس شيئا عن ميكانيكا الكم يعرف مبدأ اللاحتمية أو مبدأ هايزنبرج ـ فهذا عنصر رئيسى فى فيزيقا الكم.

وبالرغم من أن الكثير قد كُتب مؤخرا عن الأسس العجيبة لمفاهيم ميكانيكا الكم، فإن علينا أن نولى اهتماما خاصا لتأملات هايزنبرج، أحد كبار مهندسى هذه النظرية. لقد ظل هايزنبرج ـ وحتى وفاته عام ١٩٧٦ ـ على اهتمامه العميق بعالم الكم، وبالتضمينات الفلسفية الهائله التى تنثال منه. والشرح الذى سيلى هو استعراض شامل لهذه الآراء، ومعه تقييم لنظرية النسبية ولبعض مناحى الفيزياء الذرية والجسيمية. إنه نموذج للوضوح. وهو واحد من أوضح التقارير عما يسمى "تفسير كوبنهاجن" لميكانيكا الكم الذى أصبح وجهة النظر القياسية.

إن المبحث المحورى لعرض هايزنبرج - الذى بُنى على محضرات جيلفورد التى ألقاها فى العام الدراسى ٥٥ - ١٩٥٦ بجامعة سانت أندروز - هو أن الكلمات والمفاهيم المألوفة فى الاستعمال اليومى قد تفقد معناها فى عالم النسبية وفيزياء الكم. فقد يصبح من المتعذر مثلا أن نجد إجابة ذات معنى لأسئلة تطرح عن الفضاء والزمن أو عن خصائص الأشياء الماديه، كمثل مواقعها، بالرغم من أنها أسئلة تبدو معقولة تماما فى أحاديثنا اليوميه. وهذا بدوره له تضميناته العميقة بالنسبة لطبيعة الواقع وبالنسبة لنظرتنا الكلية للعالم.

إن التكيف مع جيشان المفاهيم الذى تتطلبه النظرية النسبية لهو أسهل فى نواحى كثيرة مما تتطلبه ميكانيكا الكم. من الصحيح أن النسبية تتضمن بعض الأفكار الغريبة كمثل تمدد الزمن وتقلصه وانحناء الفضاء والثقوب السوداء، وصحيح أيضا أنها تؤكد أنْ ليس ثمة إجابات صريحة واضحة لأنماط معينة من الأسئلة تبدو معقولة تماما وذات معنى. فلقد نسأل مثلا عن الوقت الذى يقع فيه حدث، أو عما إذا كان حدثان فى مكانين مختلفين قد وقعا فى نفس اللحظه، لكن مثل هذه الأسئلة فى صورتها هذه قد تكون مما لايمكن الاجابة عليه، لأن النظرية تخبرنا أنْ ليس ثمة زمن كونى مطلق، كما ليس ثمة مفهوم كونى للتزامن. فمثل هذه الأشياء أشياء "نسبية"، ولابد أن تُنسب إلى إطار مرجعى محدد قبل أن يصبح للسؤال معنى. لكن هذه الأفكار، بالرغم من كونها غريبة غير مألوفة، فإنها لا تنافى العقل على نحوٍ بيِّن، لا ولا هى تثير أية مشاكل فى التفهم حقيقية. ولهذا السبب يلزم أن تُعتبر النظريةُ النسبية، فى صورتيها الخاصة والعامة، نظريةً لا خلافية.

ربما كانت أعقد المشاكل الفلسفية التى أبرزتها نظرية النسبية هى إمكانية أن يكون الكون قد نشأ فى لحظة محددة فى الماضى، عندما بزغت المادة والطاقة فجأة فى الوجود ومعهما الفضاء والزمن. والحق أن الدرس الرئيسى لنظرية النسبية هو أن الفضاء والزمان لا يشكلان فقط المساحة التى عليها تُمَثَّل الدراما الكونية، ولكنهما أيضا جزء من صميم العرض - نعنى أن الزمان هو جزء من العالم الفيزيقى تماما مثل المادة. بل الحق أنهما متناسجان فى حميمية. ولقد ذكر هايزنبرج أن القديس أوغسطين فى القرن الخامس قد سبقنا إلى فكرة أن الزمن لايمتد إلى الوراء حتى الأبد، وإنما هو قد خُلق مع الكون. هناك إذن نظير علمى للتعاليم المسيحية عن الخلق من العدم. لكن ماحدث من تحريف لمفهومنا عن السببية الفيزيقية

تحريف ضخم. ولقد ابتدأ، مؤخراً فقط، ظهور صورة مُرْضية عن أصل الزمكان من داخل سياق كوزمولوجيا الكم (وهذا علم تطور بعد وفاة هايزنبرج).

وميكانيكا الكم، على عكس نظرية النسبيه، تعرض لنا مشاكل فى المفاهيم والفلسفه أكبر بكثير. وعن هذه المشاكل بالتحديد يحدثنا هايزنبرج فى وضوح بالغ. ويلزم أن أؤكد من البداية أن معظم الطلبة يدرسون ميكانيكا الكم كمقَرّر، وليس أبدا ثمة ما يلزمهم بأن يتورطوا فى قضاياها الفلسفيه. والتطبيق العملى لميكانيكا الكم ناجح لحد بعيد، ولقد تغلغل فى ميادين عديدة من العلم والتكنولوجيا المعاصرة. ليس ثمة من يجادل فيما تتنبأ به النظرية، وإنما فقط فيما تعنيه.

فى قلب ثورة الكم يقع مبدأ هايزنبرج للأُحتمية. وهذا المبدأ يقول - بشكل عريض - إن كل المقادير الفيزيقية التى يمكن ملاحظتها تخضع لتقلبات لايمكن التنبؤ بها، تجعل قيمها غير محددة تماما. خذ على سبيل المثال موقعَ (س) وكميةَ حركةِ (ح) جسيمٍ كَمّاتىً مثل الإلكترون. للباحث أن يقيس أيا من هاتين القيمتين لأى درجة من الدقة يراها. لكن من المستحيل أن تكون لهما سويا قيم دقيقة فى نفس الوقت. ثمة لاحتمية أو انتشار فى قيمتيهما (Δ س، Δ ح على التوالى) بحيث أن حاصل الضرب Δ س × Δح لايمكن أن يقل عن رقم ثابت معين. ومن ثم فإن زيادة الدقة فى تعيين الموقع لابد أن تكون على حساب انخفاض الدقة فى تعيين السرعة، والعكس بالعكس. وهذا الثابت (ويسمى ثابت بلانك، عن اسم ماكس بلانك) رقم غاية فى الصغر، بحيث لاتصبح للآثار الكماتية أية أهمية عموما إلا فى المجال الذرى. ونحن لانلاحظها فى حياتنا اليومية.

من المهم هنا أن نعرف تماما أن هذه اللاحتمية تكمن فى صلب الطبيعة، وأنها ليست مجرد نتيجة لقصور فى تكنولوجيا القياس. ليس الأمر مجرد اهمال من المجرب فى أن يقيس الموقع وكمية الحركة فى نفس الوقت. إن الجسيم ببساطة لايمتلك قيمتين دقيقتين متزامنتين لهتين الخصيصتين. لقد تعودنا على اللاحتمية فى الكثير من العمليات المادية - فى البورصة مثلا أو فى الديناميكا الحرارية - لكن اللاحتمية فى هذه المجالات ترجع إلى قصور فى البيانات المتاحة وليس إلى عجز أساسى فى ماقد يعرف عن هذه النظم.

للأُحتمية تضمينات عميقة. إنها تعنى مثلا أن الجسيم الكماتى لايتحرك عبر الفضاء فى

مسار واضح التحديد. فلقد يترك الالكترون الموقع أ ليصل إلى الموقع ب، لكن ليس فى الامكان أن نعين مساراً محدداً يربط مابين الموقعين. وعلى هذا فإن النموذج المعروف للذرة، وبه الإلكترونات تدور حول النواة على طول مدارات مميزة هو نموذج مضلّل إلى حد بعيد. يخبرنا هايزنبرج أن مثل هذا النموذج قد يكون مفيداً فى تكوين صورة معينة بالذهن، ولكنها صورة لايربطها بالواقع غير رباط واهٍ.

يؤدى تشابك الموقع وكمية الحركة إلى لاحتمية متأصلة فى سلوك النظم الكماتية، حتى لتصبح أكمل البيانات عن نظام ما (الذى قد يكون مجرد جسيم مفرد حر الحركة) غيرَ كافية على العموم للتمكن من تنبؤ محدد عن سلوكه، فلقد يمضى نظامان متطابقان عند البدء، ليفعلا شيئين مختلفين تماماً. وعلى سبيل المثال فقد يطلق المجرب إلكتروناً نحو هدف ليجد أنه يستطير إلى اليسار، فإذا ماكرر التجربة تحت نفس الظروف فقد يستطير الإلكترون التالى إلى اليمين.

على أن عدم إمكانية التنبؤ فى النظم الكماتية لايعنى الفوضى. فمازالت ميكانيكا الكم تمكننا من أن نحدد بدقة "الاحتمالات" النسبية للبدائل. ميكانيكا الكم إذن نظرية احصائية، فى مقدورها أن تعطى تنبؤات لالبس فيها بالنسبة لمجموعات من النظم المتطابقة، ولكنها لاتقدم عموماً شيئاً محدداً عن نظام مفرد. أما ماتختلف فيه عن غيرها من النظريات الإحصائية (مثل الميكانيكا الاحصائية أو التنبؤ بالجو أو علم الاقتصاد) فهو أن عامل الصدفة متأصل فى طبيعة النظام الكماتى، ولايفرضه فقط قصور إدراكنا لكل المتغيرات التى تؤثر فى النظام.

ليس هذا مجرد مماحكة متحذلقة. خذ آينشتين مثلاً، لقد راعته فكرة اللاتنبؤية المتأصلة فى العالم الفيزيقى ليرفضها فى غير تحفظ بقولته الشهيرة "إن الإله لايلعب النرد مع الكون". كان يرى أن ميكانيكا الكم قد تكون صحيحة فى حدودها، لكنها بالرغم من ذلك ناقصة ولابد من وجود ثمة مستوى أعمق من متغيرات دينامية مخبوءة تؤثر فى النظام وتضفى عليه لاحتمية ولاتنبوعية، فى الظاهر لاأكثر. لقد أمل آينشتين أن توجد تحت فوضى الكم صيغة غاية فى الدقة من عالم مألوف حسن السلوك من الديناميكا الحتمانية.

عارض هايزنبرج ونيلز بوهر، وبقوة، محاولة آينشتين للتشبث بهذه النظرة الكلاسيكيه للعالم. امتد الجدل الذى بدأ فى أوائل ثلاثينات هذا القرن لسنين طويلة، كان آينشتين أثناءها

يهذب من اعتراضاته ويعيد صياغتها . كان أكثر هذه الاعتراضات ثباتا هو ماإقترحه مع بوريس بودولكسي وناثان روزين عام ١٩٣٥، وهو مايطلق عليه عادة اسم "مفارقة" آب ر " (والواقع أنه ليس ثمة مفارقه حقيقية). تتعلق هذه المفارقة بخصائص نظام من جسيمين يتفاعلان ثم يفترقان وينطلقان بعيدا عن بعضهما مسافة طويلة. تقول ميكانيكا الكم إن النظام يبقى كُلاً لا يتجزأ بالرغم من انفصال الجسيمين في الفضاء، والمتوقع أن تبين القياسات المتزامنة التي تُجرى على الجسيمين تلازمات تدل على أن كل جسيم يحمل (بمعنى يمكن تحديده تحديدا رياضيا جيدا) أثراً لنشاطات الآخر. يحدث هذا التعاضد بالرغم من قيود نظرية النسبية الخاصة لآينشتين نفسه والتي ترفض أى اتصال فورى مادى بين الجسيمين.

كان آينشتين يرى أن نظام الجسيمين يوضح القصور في ميكانيكا الكم، ذلك أن المجرب عندما يجرى القياسات على الجسيم الثاني وحده (وهو مايعنى فى الواقع استخدام هذا الجسيم بالإنابة كوسيلة للحصول على بيانات عن الجسيم الأول) فقد يستنبط حسب هواه موقع الجسيم الأول في تلك اللحظة أو كمية حركته. يقول آينشتين إن هذا بالتأكيد يعنى ضرورة إضفاء قدر من الواقع فى تلك اللحظة على الجسيمين كليهما، لأن الباحث يستطيع أن يدنو من أى منهما (لا كلاهما!) مستخدما نظام قياس لايُمكن أن يقلق الجسيم موضع الاهتمام (بسبب قيد سرعة الضوء).

تمضى مفارقة آب ر إلى قلب الصورتين المختلفتين للعالم اللتين تفرضهما علينا الفيزياء الكلاسيكية وفيزياء الكم. فأما صورة العالم الكلاسيكى التى يعتنقها آينشتين فى حماس فهى صورة تنسجم جيدا مع العقل العام بتأكيدها الواقع الموضوعى للعالم ا لخارجى. هى تسلّم بأن ملاحظاتنا بالضرورة تقتحم ذلك العالم وتقلقه، لكن هذا الاقلاق ليس سوى اتفاق عَرَضى يمكن التحكم فيه وتقليله. ثم أن هذه النظرة تعتبر العالم الصغير مختلفا فى المدى، لافى مرتبة الوجود، عن عالم الشهادة الكبير. فالإلكترون صورة مصغرة من كرة بلياردو عادية، ويشترك مع هذه الأخيرة فى مجموعة كاملة من الخصائص الدينامية، مثل صفة الوجود فى مكان ما (نعنى أن لها موقعا) والحركة فى مسار معين (نعنى أن لها كمية حركة). فملاحظاتنا فى العالم الكلاسيكى لاتخلق الواقع وإنما تكشفه. وعلى هذا تظل الذرات والجسيمات موجودة تحمل صفات محددة تماما حتى لو لم نكن نلحظها.

فى مقابل ذلك نجد أن تفسير كوبنهاجن لميكانيكا الكم - الذى يناصره هايزنبرج بوضوح

تام فى هذا الكتاب ـ يرفض الواقع الموضوعى لعالم الكم الصغير. إنه يرفض مثلا أن يكون للإلكترون موقع محدد تماما وكمية حركة محددة تماما فى غياب ملاحظة فعلية لموقعه أو لحركته (ولا يمكن أن يكون لكليهما سويا فى نفس الوقت قيم قاطعة). وعلى هذا فلايمكن أن نعتبر الإلكترون أو الذرة شيئا صغيرا بالمعنى الذى تكون فيه كرة البلياردو شيئا. إن كلامنا يكون بلا معنى إذا نحن تحدثنا عما يفعله إلكترون بين ملاحظتين، لأن الملاحظة وحدها هى التى تخلق واقع الإلكترون. وعلى هذا فإن قياس موقع إلكترون ما يخلق "إلكترونا ـ له ـ موقع"، وقياس كمية حركته يخلق "إلكترونا ـ ذا ـ حركة" لكنا لانستطيع أن نعتبر هذا الكيان أو ذاك موجودا بالفعل قبل أن نجرى القياس.

ماهو الإلكترون إذن من وجهة النظر هذه؟ هو ليس شيئا ماديا بقدر ماهوتشفير تجريدى لمجموعة من الإمكانات أو النتائج المحتملة للقياسات. هو طريقة مختزلة للإشارة إلى وسيلة لربط ملاحظات مختلفة عن طريق الصورية الميكانيكية للكم. لكن الواقع يكمن فى الملاحظات، لافى الإلكترون.

أما إنكار الواقع الموضوعى للعالم الخارجى المضمر فى تفسير كوبنهاجن، فكثيرا مايصاغ فى عبارات أكثر حذرا. لكن هايزنبرج فى هذا الكتاب يقدم لنا بعضا من أصرح مارأيت من تأكيدات لهذا الموقف. هو يقول: "فى التجارب التى تجرى على الوقائع الذرية علينا أن نتعامل مع الأشياء والحقائق، مع ظواهر لها نفس واقعية الحياة اليومية. لكن الذرات أو الجسيمات الأولية ذاتها ليست واقعية مثلها، إنها تشكل عالما من الإمكانات أو الاحتمالات لا عالما من الأشياء والحقائق". تُوسَم آراء آينشتين بأنها "واقعية دوجماطية" وهى تمثل موقفا طبيعيا جدا فى رأى هايزنبرج. والحق أن الغالبية العظمى من العلماء يدينون به. هم يعتقدون أن أبحاثهم تشير فعلا إلى شىء واقعى "يوجد هناك" فى العالم المادى، وأن الكون المادى الشرعى ليس مجرد ابتكار من خيال العماء. إن النجاح غير المتوقع للقوانين الرياضية البسيطة فى الفيزياء يدعم الاعتقاد بأن العالم إنما يطرق واقعا خارجيا موجودا بالفعل. لكن هايزنبرج ينبهنا إلى أن ميكانيكا الكم قد بنيت أيضا على قوانين رياضية بسيطة ناجحة تماما فى تفسير العالم المادى، غير أنها لا تتطلب أن يكون لهذا العالم وجود مستقل، بالمعنى الذى تقول به "الواقعية الدوجماطية". وعلى هذا فإن العلم الطبيعى ممكن بالفعل دون أساس من الواقعية الدوجماطية.

هنا نصل إلى الموضوع الذى يشكل ذروة قضية هايزنبرج. تساءل: كيف يمكن التحدث عن الذرات وما أشبه إذا ماكان وجودها مبهما؟ أى معنى ننسبه للكلمات التى تشير إلى خصائصها؟ إنه يؤكد المرة بعد المرة أن كل الحقائق التى نبنى عليها عالم الخبرة تشير إلى أشياء عيانية ترى بالعين - دقات عداد جايجر، بقع على لوحة فوتوغرافية، وهلم جرا. وكل هذه أشياء نستطيع أن نربطها ببعضها بعضا بشكل معقول بكلام عادى بسيط (إذا استعرنا تعبير بوهر). ولايمكننا أن ندرك عالم الكم الصغير دون هذه الستارة الخلفية "للأشياء" الكلاسيكية المعقولة المألوفة (وواقعها على مايبدو أمر أكيد)، لأن كل قياساتنا وملاحظاتنا للعالم الدقيق تؤخذ عن طريق الأجهزة الكلاسيكية وتتضمن رصد سجلات دقيقة، كمثل موقع المؤشر على جهاز القياس، وهى سجلات لايختلف عليها اثنان ولايكتنفها أى ابهام أو غموض تصورى.

دعم هايزنبرج حجته بالاستناد إلى مبدأ بوهر المسمى "مبدأ التتام". هذا المبدأ يسلم بالغموض الأساسى المتأصل فى النظم الكماتية: أن يفصح النظام الواحد عن خصائص تبدو متناقضة. فالإلكترون على سبيل المثال قد يسلك سلوك موجة وقد يسلك سلوك جسيم. ويؤكد بوهر أن هاتين الخصيصتين هما وجهان للواقع متتامان، لامتناقضان. فلقد تفصح تجربة عن الطبيعة الموجبة للإلكترون بينما تفصح أخرى عن الطبيعة الجسيمية. ولايمكن للإلكترون أن يفصح عن الخصيصتين فى آن معا، والأمر يرجع للمجرب فى أن يقرر الوجه الذى يكشفه عندما يختار تجربته. وموقع الإلكترون وكمية حركته هما كذلك صفتان متتامتان. وعلى المجرب أن يقرر أية خصيصة سيرصد.

أما سؤالنا "هل الإلكترون موجة أم هو جسيم؟" فلايشبه إلا السؤال "هل تقع استراليا فوق بريطانيا أم تحتها؟". والإجابة: "كلاهما، ولاأيهما". للإلكترون كلا الوجهين، ويمكن لأيهما أن يتجلى، ولكن ليس لأيهما أى معنى فى غياب سياق تجريبى محدد. وبذا فإن ميكانيكا الكم تستخدم كلمات مألوفة (كمثل الموجة أو الجسيم أو الموقع) لكن معانيها فى غاية التعقيد وعادة ماتكون غامضة. يحذرنا هايزنبرج "إذا ماقادنا الاستعمال الغامض غير المنهجى للُغة إلى مشاكل، فعلى الفيزيائى أن يتحول إلى البرنامج الرياضى وعلاقاته الواضحة مع الحقائق التجريبية".

وهذا فى الحق هو الخط الأساسى للحجة، لأن ميكانيكا الكم فى صميمها - برنامج رياضى يربط نتائج الملاحظات بطريقة احصائية. وهذا هو كل شىء. وكل حديث عما يجرى

"فعلا" ليس إلا محاولة كي نكسب فى عالم الكم عينيةً غير شرعية تيسر التخيل. تفحّص هايزنبرج فى هذا الخصوص أعمال ديكارت وكانط فى ضوء الفيزيقا الحديثة، وتوصل إلى أن الكلمات والمفاهيم المرتبطة بها، ليس لها معان مطلقة محددة تماما . إنها تنشأ من خلال تجاربنا فى العالم، ثم أننا لانعرف مسبقا مجال تطبيقاتها . إننا لانتوقع أن نكشف أية حقيقة جوهرية عن العالم عن طريق المعالجة المجردة للكلمات والمفاهيم. أما حقيقة أننا لانستطيع ببساطة أن ننقل إلى ميدان النسبية أو الكم كلمات ومفاهيمَ معينة دارجة فلم تكن عند هايزنبرج أمرا يثير الاعتراض من الناحية الفلسفية.

وبالرغم من أن معظم الجدل الكماتي قد جرى على المستوى الفلسفي إلا أن ثمة عددا قد أجرى من التجارب الحاسمة ذات العلاقة المباشرة بالموضوع. وربما كان أهمها تلك التى اختصت بدفع التجربة التى تخيلها آب ر إلى حقل الفيزياء العملية فى عام ١٩٦٥ . وسّع جون بيل مناظرة آب ر، وأثبت بشكل عام أن أية نظرية ترتكز على "الواقع الموضوعى "وتُحرِّم فيها أيةَ إشارات أسرع من الضوء، لابد أن ترضى لاتساويات رياضية معينة، وأن تقصُر ميكانيكا الكم بالضرورة (تبعا للنظرية القياسية) عن إرضائها، ومن ثم نضطر إما إلى أن نتخلى عن الواقع الموضوعى (مع بوهر وهايزنبرج) أو أن نتخلى عن نظرية النسبية الخاصة. وليس بين الفيزيائيين غير القليل ممن يفضلون السبيل الأخير. ولاختبار لاتساويات بيل، قام آلين آسبكت وزملاؤه بمعهد البصريات قرب باريس بتجارب فى أوائل الثمانينات مستخدمين أزواجا من الفوتونات من مصدر ذرى شائع. وبعد العديد من المحاولات الدقيقة ظهرت النتائج واضحة جلية. لقد نُقضت لاتساويات بيل حقا وفقا لتنبؤات ميكانيكا الكم.

ظهرت هذه النتائج بعد وفاة هايزنبرج، غير أن الفرصة قد أتيحت لى كى أناقشها مع الكثيرين من زملائه القدامى، الذين ساهموا، ومعهم بوهر، فى تشكيل تفسير كوبنهاجن فى ثلاثينات هذا القرن. كانوا جميعا متحفظين بالنسبة لتجربة آسبكت التى عضدت فى جمال موقفهم، وقالوا إن النتائج لايمكن لها أن تكون غير ماكانت، وأنها لم تكن مفاجأة.

وبالرغم من ذلك فإن تفسير كوبنهاجن ليس خاليا من النقائض، فما يزال الكثيرون من الفيزيائيين يشعرون بالضيق بالنسبة للنظرية، التى يلزم قبل تطبيقها من توسيع الصورية بفروض إبستمولوجية (معرفية) معينة. أما حقيقة أن تفسير كوبنهاجن يرتكز على قبول الوجود المسبق للعالم الكلاسيكى الكبير، فإنها تبدو حقيقة دائرية ومتناقضة، لأن العالم الكبير

يتـألف من عـالم الكم الصـغيـر. وبالرغم من أن الآثار الكمـاتيـة ضـئيلة للغاية على مـؤشـرات الأجهزة وعلى الأسطح الفوتوغرافية، إلا أنها موجودة بالفعل من ناحية المبدأ. يأمل الفيزيائيين أن يستنبطوا العالم الكلاسيكى حداً أعلى لعالم الكم، لا أن يفترضوه مسبقا.

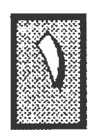
يظهر ضعف تفسير كوبنهاجن عندما نطرح السؤال: "ماالذى يحدث فعلا داخل جزء من جهاز القياس عند قياس جسيم كَمَّاتى؟" إن افتراض كوبنهاجن يقول إننا نعامل الجهاز معاملة كلاسيكية، أما إذا عاملناه (بشكل أكثر واقعية) كمجموعةٍ (إن تكن كبيرة) من جسيمات كماتية، فستكون النتيجة مزعجة للغاية. إن نفس مايكتنف الجسيم من الغموض واللاحتمية سيجتاح الآن النظام بـأكمله، وبدلا من أن يقوم الجهـاز بإفراد حـقيـقة واقـعـة مـعـينة من بين مـجـال من الاحتمالات الممكنة ويجعلها مما يُدْرَك بالحواس، فإن النظام المركب من (الجهاز زائدا الجسيم) سيتخذ وضعا يمثل لايزال مجالا من الاحتمالات الممكنة. لنأخذ مثالا محددا. إذا ماأُعد الجهاز ليقيس ما إذا كان إلكترونٌ ما موجودا بالنصف الأيمن أو بالنصف الأيسر من صندوق، وإذا ماكان الجهاز سيفصح عن النتيجة بأن ينحرف المؤشر إلى اليمين أو إلى اليسار حسب الحالة، فإن النتيجة النهائية لهذا الاجراء هى أن يتخذ النظام المركب وضعا لايمكن فيه اختيار أى من النتيجتين، إنما سيكون الوضع هو تراكبا من حالين، واحد يتـألف من الإلكترون والمؤشر إلى اليمين، والآخر يتـألف منهمـا إلى اليسار. وطالما كان هذان البديلان متنافيين فـقد لاتكون ثمة مشكلة لاتُذلَّل، لكن قد يكون هناك أيضا فى التـجارب الأكثر عمومية تداخل بين البديلين بحيث لاتبدى ثنائية هذا/ أوذاك. باختصار، لن يمكن القول بأن ثمة قياسا فعليا قد تم.

لم يول هايزنبرج إلا أقل اهتـمام للعمل الضـخم عن "مشكلة القيـاس" الذى قام به جون فون نويمان وغيره. استند إلى أن الآثار الكماتية (وبالذات تداخل الحتمالات) تتشتت إن آجلا وإن عـاجـلا في مـحـيط العـالم الكبيـر. سيـقـتنع مـعظم الناس بهـذا، إلا جـمـاعـة جـديدة من الفيزيائيين يعرفون باسم "كوزمولوجيى الكم". يحاول هؤلاء المُنَظِّرون تطبيق ميكانيكا الكم على الكون ككل لكشف سر منشئه. فإذا ما اعتبرنا الكون بأكمله هو نظام الكم المعنى، فلن يكون بالطبع ثمة محيط لعالم كبير أوسع، أو جهاز قياس خارجى، يمكن لتشوش الكم أن يتلاشى فيـه. يرفض مـعظم كـوزمولوجيـى الكم تفسـير كوبنهـاجن بما يتطلبـه من آلية إبسـتمـولوجـيـة إضـافـيـة. ويفـضلون بديلا عنه أن يأخـذوا الصـورية الكمـاتيـة بقـيـمـتـهـا الظاهرية. وهذا يـعنى ببسـاطة قـبولهم المدى الكامل للبدائل الكماتيـة واقـعـا موجوداً فـعلا. نعنى أنهم يقطعـون فى

تجربة القياس آنفة الذكر بوجود عالمين، واحد بالإلكترون والموشر إلى اليسار، وآخر بهما إلى اليمين. يتضمن قياسُ الكم عموما التسليمَ بعدد لا نهائي من العوالم الموازية تتصاحب في الوجود. ومرة أخرى سنجد أن الكثير من هذه التطورات لم يحدث إلا بعد وفاة هايزنبرج، وإن كنت أعتقد أنه لم يكن ليوليها كثيرا من اهتمامه.

يعالج هذا الكتاب موضوعات أخرى، لعل أجدرها بالذكر هو بعض التقدمات المبكرة في الفيزياء الذرية والجسيمية. لايشير هايزنبرج كثيرا إلى محاولاته الشخصية في توحيد الفيزياء الجسيمية، لكنه يلفت النظر إلى البعض من أعسر الصعوبات التي نقابلها في تطبيق ميكانيكا الكم على الجسيمات النسبوية. مرة أخرى سنجد الحوادث تتجاوز الكتاب. إن التشعبات المفزعة، أو اللانهايات، التي ذكرها قد غدت اليوم وقد وُفِّقت روتينيا في معظم التطبيقات، دون ما إفساد لقدرة النظرية على التنبؤ. بل لقد أصبح من الممكن جدا تجنبها تماما في بعض نظريات التوحيد الحديثة، لاسيما فيما يسمى بنظرية الخيط الفائق. كما أن نظريتنا عن الجسيمات الأولية قد أصبحت اليوم أفضل بكثير مما كانت عليه عندما وُضع هذا الكتاب. ولربما حظيت نظرية الكواركات واللّبتونات الحديثة بموافقة هايزنبرج لو أنها ظهرت في حياته. أما مناقشته للإله والأخلاقيات فهي سطحية نوعا، وأعتقد أنها وضعت أساسا لمقابلة متطلبات محاضرات جيلفورد.

ولكن هذه ليست سوى اعتراضات ثانوية على كتاب يعرض على نحو مُرْض جوهر ثورة الإدراك الذهني التي تسمى الفيزياء الحديثة. ولقد أنجز هايزنبرج هذا بلارياضيات وبأقل قدر من التفاصيل التقنية. لايلزم بالتأكيد أن تكون فيزيائيا كي تتابع حججه وتقدر الطبيعة الخطيرة لتحول الفكر الذي أعقب ثورتي النسبية والكم، أما ذلك السحر الذي لاينضب لهذا الكتاب فإنما يرجع إلى أنه يحمل القارىء، في وضوح رائع، من عالم الفيزياء الذرية الخفي، إلى عالم الناس واللغة وإدراك واقعنا المشترك.



تقليد قديم وتقليد حديث

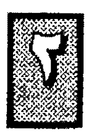
عندما يتحدث المرء اليوم عن الفيزياء الحديثة فستكون الأسلحة الذرية هي أول مايجول بخاطره. كلنا يدرك الأثر الهائل لهذه الأسلحة على البناء السياسي لعالمنا المعاصر، وكلنا مستعد لأن يسلم بأن أثر الفيزياء على الوضع العام لم يكن أبدا بهذا القدر قبلا. لكن، هل الوجه السياسي للفيزياء الحديثة هو الأهم حقا؟ عندما يوفق العالم نفسه ببنائه السياسي مع الامكانيات التقنية الجديدة، فماذا ياترى سيبقى من أثر الفيزياء الحديثة؟

لإجابة هذين السؤالين يجب أن نذكر أن كل أداة تحمل معها الروح التى أبدعتها. ولما كان من الضرورى أن تهتم كل أمة وكل جماعة سياسية بالأسلحة الجديدة بشكل ما، بغض النظر عن موقعها وعن تقاليدها الحضارية، فإن روح الفيزياء الحديثة ستتغلغل فى أذهان الكثيرين وتربط نفسها بالتقاليد القديمة بطرق مختلفة. وهذا الأثر الناجم عن ذلك الفرع الخاص من العلوم الحديثة:: ماذا ستكون نتيجته على مختلف التقاليد القديمة الراسخة؟ وُجِّه الاهتمام الأساسى فى المناطق من العالم التى تطور فيها العلم الحديث، ولفترة طويلة، نحو النشاط العملى: الصناعة والهندسة جميعا، مع تحليل منطقى للشروط الخارجية والداخلية الواجب توافرها لمثل هذا لنشاط. لن يجد مثل هؤلاء الناس صعوبة فى التعامل مع الأفكار الجديدة، فلقد سمح لهم الوقت بالتكيف البطىء التدريجى مع المناهج العلمية الحديثة للتفكير. لكن مثل هذه الأفكار ستواجه فى مناطق أخرى من العالم بالبناء الدينى والفلسفى للثقافات المحلية. ولما كانت نتائج الفيزياء الحديثة تمس مفاهيم أساسية مثل الواقع والمكان والزمان، فقد تؤدى المواجهة إلى تطورات جديدة تماما لايمكن حتى الآن التنبؤ بها. ثمة ملمح مميز لهذا اللقاء بين العلم الحديث والمناهج الأقدم للتفكير، هو دوليته الكاملة. وفى تبادل الأفكار بين الجانبين،

سنجد جانبا (التقليد القديم) يختلف باختلاف مناطق العالم، بينما سنجد الآخر واحدا فى كل مكان، وعلى هذا فإن نتائج هذا التبادل ستنتشر فى كل المناطق التى تحدث فيها المناقشات.

لمثل هذه الأسباب قد يكون ثمة مايفيد فى محاولة مناقشة أفكار الفيزياء الحديثة بلغة غير مسرفة فى التقنية، وفى دراسة نتائجها الفلسفية، وفى مقارنتها ببعض التقاليد الأقدم.

ولعل أفضل طريق للولوج إلى مشاكل الفيزياء الحديثة هو الوصف التاريخى لتطور نظرية الكم. صحيح أن نظرية الكم ليست إلا قطاعا صغيرا من الفيزياء الذرية، وأن الفيزياء الذرية نفسها ليست سوى قطاع صغير جداً من العلوم الحديثة، لكن نظرية الكم هى النظرية التى حدثت بها أهم التغيرات الجذرية بالنسبة لمفهوم الواقع، ونظرية الكم فى صورتها الأخيرة هى التى تركزت بها وتبلورت الأفكار الجديدة للفيزياء الذرية. تبين أجهزة التجارب الهائلة البالغة التعقيد اللازمة لبحوث الفيزياء النووية، تبين ملمحا آخَرَ لهذا الفرع من العلوم الحديثة مثيراً غاية الإثارة. أما بالنسبة للتقنية التجريبية فإن الفيزياء النووية تمثل الامتداد المتطرف لمنهج فى البحث تَحَدد به نمو العلم الحديث منذ هويجنز أو فولتا أو فاراداى. وبنفس المعنى قد يمكن القول إن التعقيدات الرياضية المثبطة لبعض أجزاء نظرية الكم تمثل النتيجة المتطرفة لمناهج نيوتن أوجاوس أو ماكسويل. لكن التغير فى مفهوم الواقع الذى يفصح عن نفسه فى نظرية الكم ليس مجرد استمرار للماضى، إنه يبدو اختراقاً فى بناء العلم الحديث. وعلى هذا فسنخصص الفصل التالى لدراسة التطور التاريخى لنظرية الكم.



تاريخ نظرية الكم

ترتبط نظرية الكم بمظاهرة معروفة لا تنتمي إلى الأجزاء الرئيسية من الفيزياء الذرية. فإذا ماسخنت أى قطعة من المادة، فإنها تبتدىء فى التوهج، وبارتفاع الحرارة تلتهب ويحمر لونها ثم يزداد إتقادها فتبيض. ولايعتمد اللون كثيرا على سطح المادة، وهو فى الأجسام السوداء يتوقف تماما على درجات الحرارة. وعلى هذا فإن الاشعاع المنبعث من مثل هذه الأجسانم السوداء على درجات الحرارة المرتفعة يعتبر مادة ملائمة للبحث الفيزيائى. إنه ظاهرة بسيطة يجب أن تجد تفسيرها البسيط فى القوانين المعروفة للإشعاع والحرارة. على أن المحاولة التى قام بها اللورد رايلى وجينس فى نهاية القرن التاسع عشر قد فشلت وكشفت عن صعوبات خطيرة. لن يكون من السهل أن نصف هنا هذه الصعوبات فى عبارات بسيطة، ويكفى فقط أن نذكر أن تطبيق القوانين المعروفة لم يؤد إلى نتائج معقولة. وعندما دخل بلانك هذا المجال من البحث عام ١٨٩٥ حاول أن يحول المشكلة من الإشعاع إلى الذرة المشعة. بيد أن هذا لم يؤد إلى إزالة أى من الصعوبات الملازمة للمشكلة، لكنه بسط تفسير الحقائق التجريبية. فى هذا الوقت بالذات ـ فى صيف عام ١٩٠٠ ـ قام كرلباوم وروبنس فى برلين بإجراء قياسات جديدة دقيقة جدا لطيف الإشعاع الحرارى. عندما سمع بلانك بهذه النتائج حاول أن يفسرها عن طريق صيغ رياضية بسيطة بدت مقبولة من بحثه عن العلاقة العامة بين الحرارة والإشعاع. ثم تقابل بلانك وروبنس يوما على فنجان شاى فى منزل بلانك، وقارنا نتائج روبنس الأخيرة بصيغة جديدة اقترحها بلانك، بينت المقارنة توافقا كاملا. وكان هذا هو اكتشاف قانون الاشعاع الحرارى لبلانك.

كان هذا فى الوقت ذاته بدايةً للعمل النظرى المكثف لبلانك. ماذا كان التفسير الفيزيائى

الصحيح للصيغة الجديدة؟ كان بلانك يستطيع، من أعماله السابقة، أن يترجم صيغته بسهولة إلى بيان عن الذرة المشعة (أو ماتسمى بالمتذبذبة)، ولابد أنه اكتشف سريعا أن صيغته تشير إلى أن المتذبذبة لايمكن أن تحوى إلا كمات متميزة من الطاقة ـ وهذه نتيجة تختلف تماما عن كل ماعرف قبلا فى الفيزياء الكلاسيكيه، حتى ليمكن القول إنه لابد وأن قد رفض تصديقها فى البداية. لكنه أقنع نفسه خلال فترة عمله المكثف صيف ١٩٠٠ بأن لا مفر من هذا الاستنباط. ذكر ابنُ بلانك أن والده قد حدثه عن أفكاره الجديدة أثناء نزهة طويلة على الأقدام فى جرونيفالد ـ تلك الغابة فى ضواحى برلين. شرح له فى هذه النزهة بأنه شعر كما لو كان قد توصل إلى كشف من الطراز الأول، ربما لايضارعه إلا اكتشافات نيوتن. لابد إذن أن بلانك كان يدرك آنئذ أن صيغته مست أسس وصفنا للطبيعة، وأن هذه الأسس ستبدأ يوما ما فى التحرك من وضعها التقليدى الحالى نحو وضع مستقر جديد لايزال مجهولا. لم يكن بلانك يحب هذه النتيجة على الاطلاق وهو المحافظ فى نظرته الكلية للمستقبل، لكنه نشر فرضه الكماتى فى ديسمبر عام ١٩٠٠.

أما فكرة أن الطاقة لايمكن أن تنبعث أو تُمتص إلاّ فى كمات طاقة متميزة فقد كانت فكرة جديدة تماما، حتى لم يكن من المستطاع تكييفها داخل الهيكل التقليدى للفيزياء. حاول بلانك مرة أن يصالح فرضه الجديد مع القوانين الأقدم للإشعاع، لكن محاولته فشلت فى القضايا الأساسية. وتطلب الأمر خمس سنين كى تخطو الخطوة التالية فى الاتجاه الجديد.

فى هذه المرة كان الشاب آينشتين ـ ذلك العبقرى الثورىّ بين الفيزيائيين ـ هو الشخص الجسور الذى لم يخش هجر المفاهيم القديمة. كان ثمة مشكلتان يمكنه فيهما أن يستخدم الأفكار الجديدة. فأما الأولى فهى مايسمى الظاهرة الضوكهربية، انبعاث الإلكترونات من المعادن تحت تأثير الضوء. بينت التجارب ـ لاسيما تجارب لينارد ـ أن طاقة الإلكترونات المنبعثة لاتعتمد على شدة الضوء، وإنما فقط على قوته ـ أو إذا أردت الدقة، على تردده. ولا تستطيع النظرية التقليدية للإشعاع أن تفسر هذا. ولقد تمكن آينشتين من تفسير هذه الملاحظات بأن ترجم فرض بلانك على أنه يقول إن الضوء يتكون من كمات من الطاقة تتحرك خلال الفضاء. ويلزم أن يكون الكم الواحد للضوء ـ بناء على افتراضات بلانك ـ مساويا لتردد الضوء مضروبا فى ثابت بلانك.

وأما المشكلة الثانية فكانت هى الحرارة النوعية للأجسام الجامدة. تؤدى النظرية التقليدية

إلى قيم للحرارات النوعية تتوافق مع الملاحظات على درجات الحرارة المرتفعة، لكنها تخالفها على درجات الحرارة المنخفضة. ومرة أخرى تمكن آينشتين من أن يوضح أننا نستطيع تفهم هذا السلوك بتطبيق فرض الكم على اهتزازات المرونة للذرات فى الجسم الجامد. ولقد كانت هاتان النتيجتان علامة بارزة من علامات التقدم لأنهما كشفتا عن وجود كم الفعل لبلانك - وهكذا يسمى ثابت بلانك بين الفيزيائيين - عن وجوده فى ظواهر متعددة ليس لها علاقة مع الإشعاع الحرارى. ثم أنهما كشفتا فى نفس الوقت عن الصفة الثورية العميقة للفرض الجديد، فلقد قادت الأولى منهما إلى وصف للضوء يختلف عن الصورة الموجية التقليدية. من الممكن تفسير الضوء إما على أن يتكون - تبعا لنظرية ماكسويل - من موجات كهرومغنطيسية، أو أنه يتكون من كمات ضوء، أو رُزَم من الطاقة تتحرك خلال الفضاء بسرعة هائلة. لكن هل من الممكن أن يكون كليهما؟ عرف آينشتين بالطبع أنه لايمكن تفسير الظواهر المعروفة للحيود والتداخل إلا على أساس الصورة الموجية. ولم يكن فى استطاعته أن يناقش التعارض التام بين الصورة الموجية وفكرة كمات الضوء. ولاهو حاول حتى أن يزيل التناقض الذاتى لهذا التفسير. لقد أخذ التناقض ببساطة على أنه شىء يمكن فهمه فيما بعد.

فى غضون ذلك كان أبحاث بيكريل وكورى ورذرفورد قد أدت إلى بعض التوضيح بالنسبة لتركيب الذرة. فقد أثمرت ملاحظات رذرفورد على تفاعل أشعة ألفا التى تنفذ خلال المادة، أثمرت عام ١٩١١ النموذجَ الذرىَّ الشهير، وفيه تُصور الذرة على أنها نواة موجبة الشحنة تحوى كل كتلة الذرة تقريبا، تدور حولها إلكترونات مثلما تدور الكواكب حول الشمس. وفسرت الرابطة بين ذرات العناصر المختلفة كتفاعل بين الإلكترونات الخارجية للذرات المتجاورة، فليس لها علاقة مباشرة بنواة الذرة. تحدد النواةُ السلوكَ الكيماوىَّ للذرة من خلال شحنتها، التي تحدد بدورها عددَ الإلكترونات فى الذرة المتعادلة. لم يكن هذا النموذج الذرى فى بداية الأمر قادرا على تفسير أهم الملامح المميزة للذرة: نقصد ثباتها الهائل. ليس ثمة نظام كوكبي يمكنه تبعا لميكانيكا نيوتن أن يعود إلى صورته الأصلية بعد تصادمه بنظام شبيه. لكن ذرة عنصر كالكربون ستظل ذرة كربون بعد أى تصادم أو تفاعل يحدث فى الترابطالكيماوى.

قدم بوهر عام ١٩١٣ تفسير هذا الثبات الفريد، وذلك بتطبيق فرض الكم لبلانك. فإذا كانت الذرة تستطيع أن تغير طاقتها فقط عن طريق كمات طاقة مميزة، فإن هذا يعنى بالضرورة أن

الذرة لايمكن أن توجد إلى فى حالات موقوفة مميزة، أدناها هى الحالة الطبيعية للذرة. وعلى هذا فإن الذرة بعد أى تفاعل ستعود فى نهاية المطاف إلى حالتها الطبيعية.

بتطبيق نظرية الكم على النموذج الذرى استطاع بوهر ليس فقط أن يفسر ثبات الذرة وانما أيضا أن يقدم فى بعض الحالات البسيطة تفسيرا نظريا للطيف الخطى الذى تطلقه الذرات بعد إثارتها بالتفريغ الكهربى أو الحرارة. ترتكز نظريته على تشكيلة من الميكانيكا الكلاسيكية لحركة الإلكترونات تحت شروط كماتية فرضت على الحركات الكلاسيكية لتحديد الحالات الموقوفة المميزة للنظام. ولقد قدم سومرفيلد فيما بعد صياغة رياضية متينة لهذه الشروط. كان بوهر يدرك حقيقة أن الشروط الكماتية تفسد بشكل ما استقامة ميكانيكا نيوتن. يمكن للمرء باستخدام نظرية بوهر أن يحسب ترددات الضوء المنبعث من ذرة بسيطة كذرة الأيدروجين.

ولقد اتضح وجود اتفاق تام مع الملاحظات. غير أن هذه الترددات كانت تختلف عن الترددات المدارية وعن توافقيات الإلكترونات الدائرة حول النواة، وقد بينت هذه الحقيقة على الفور أن النظرية تعج بالمتناقضات لاتزال. لكنها تحمل جزءا كبيرا من الحقيقة. فهى تفسر بالفعل - وصفيا - السلوك الكماتى للذرات وطيفها الخطى، ولقد تأكدت صحة وجود الحالات الموقوفة عن طريق تجارب فرانك وهيرتس، وشتيرن وجيرلاخ.

فتحت نظرية بوهر فرعا جديدا من البحوث. أتيح الآن كلُّ ذلك القدر الهائل من المادة التجريبية التى جُمعت بالمطياف خلال بضعة عقود، أتيح ليُستخدم كبيانات عن قوانين الكم الغريبة التى تحكم حركات الإلكترونات فى الذرة. كما أمكن أيضا استعمال الكثير من تجارب الكيمياء لنفس الغرض. ولقد تعلم الفيزيائيون من ذلك التاريخ أن يسألوا الأسئلة الصحيحة. وكثيرا مانقطع بوضع السؤال الصحيح أكثرَ من نصف الطريق نحو حل المشكلة.

وماذا كانت هذه الأسئلة؟ كانت كلها تقريبا تتعلق بالتناقضات الغريبة الواضحة بين نتائج التجارب المختلفة. فالاشعاع الذى يسبب نموذج التداخل، والذى لابد من ثَم أن يتألف من موجات، كيف يمكن أن يُتيح أيضا الظاهرةَ الضوكهربية وهى التى تحتاج بالضرورة أن يكون مؤلفا من جسيمات متحركة؟ وترددُ الحركة المدارية للإلكترون فى الذرة، كيف يمكن ألاَّ يتبدى فى تردد الاشعاع المنبعث؟ هل يعنى هذا أنْ ليس ثمة حركة مدارية؟ لكن، إذا ماكانت فكرة

الحركة المدارية خاطئة، فماذا يحدث للإلكترونات داخل الذرة؟ يمكننا أن نرى الالكترونات وهي تتحرك خلال الغرفة السحابية، وهي تُطْرد أحيانا من الذرة، فلماذا إذن لاتتحرك خلال الذرة أيضا؟ من الصحيح أنها قد تكون في وضع سكون في الحالة الطبيعية للذرة ـ حالة أدنى طاقة. لكن ثمة حالات كثيرة لطاقة أعلى يكون فيها للقشرة الإلكترونية عزمٌ زاوٍ. ومثل هذه الالكترونات لايمكن أن تكون في وضع سكون. يمكننا أن نضيف العديد من الأمثلة المشابهة، وسنجد المرة بعد المرة أن محاولة وصف الأحداث الذرية باستخدام المصطلحات التقليدية للفيزياء ستؤدى إلى تناقضات.

وبالتدريج، خلال أوائل العشرينات، تعوَّد الفيزيائيين على هذه الصعوبات، واكتسبوا معرفة معينة غامضة عن المواقع التي تحدث بها المشاكل، وتعلموا أن يتجنبوا التناقضات. عرفوا أيّ وصفٍ للوقائع الذرية سيكون هو الصحيح بالنسبة لكل تجربة. لم يكن هذا كافيا لتشكيل صورة عامة متماسكة عما يحدث في العملية الكماتية، لكنه غيَّر فكر الفيزيائيين بطريقة ما أدخلتهم إلى روح نظرية الكم. وعلى هذا، فقد كان العلماء يعرفون بالتقريب ما ستكون عليه نتيجة أي تجربة حتى قبل ظهور صياغة متماسكة لنظرية الكم.

كثيرا ماننناقش مايسمي بالتجارب المثالية. تصمم مثل هذه التجارب لتجيب على سؤال حاسم بغض النظر عن إمكانية تنفيذها. من المهم بالطبع أن يكون إجراء التجربة ممكنا من ناحية المبدأ، لكن التقنية قد تكون في غاية التعقيد. وقد تكون هذه التجارب المثالية نافعة جدا في توضيح مشاكل بذاتها. فإذا لم يتفق الفيزيائيون حول نتيجة مثل هذه التجربة المثالية، فكثيرا مانتمكن من العثور على تجربة مشابهة أبسط يمكن اجراؤها، بحيث تسهم الإجابة التجريبية جوهريا في تفسير نظرية الكم.

وكانت أغرب خبرات تلك السنين هي عدم اختفاء مفارقات نظرية الكم خلال عملية التوضيح هذه. على العكس من ذلك، لقد غدت أكثر بروزا وأكثر إثارة. كانت هناك على سبيل المثال تجربة كومبتون الخاصة باستطارة أشعة إكس. تقول التجارب المبكرة عن تداخل الضوء المستطار إنه ليس ثمة شك في أن الاستطارة تحدث أساسا في الشكل التالي: تتسبب موجة الضوء الساقط في أن يهتز بالشعاع إلكترون بنفس تردد الموجة، ثم يبعث الإلكترون المتذبذب موجة كروية لها نفس التردد، وبذلك ينتج الضوء المستطار. على أن كومبتون قد وجد عام ١٩٢٣ أن تردد أشعة إكس المستطارة يختلف عن تردد أشعة إكس الساقطة. من الممكن أن

يفهم هذا التغير في التردد منهجيا إذا افترضنا أن الاستطارة تنتج عن ارتطام كم ضوء بالإلكترون، إذ تتغير طاقة كم الضوء أثناء الارتطام. ولما كان حاصل ضرب التردد × ثابت بلانك يعطي طاقة كم الضوء، فلابد إذن أن يتغير التردد أيضا. لكن ماذا يحدث في هذا التفسير لموجة الضوء؟ يبدو من التجربتين (الواحدة عن تداخل الضوء المستطار والأخرى عن التغير في تردد الضوء المستطار) أن كلا منهما تناقض الأخرى، وليس ثمة احتمال لحل وسط.

في ذاك الوقت كان الكثيرون من الفيزيائيين قد اقتنعوا بأن هذه التناقضات البادية إنما تنتمي إلى البنية الأصيلة للفيزياء الذرية. وعلى هذا حاول ده برولي في فرنسا عام ١٩٢٤ أن يمد مابين وصف الموجة ووصف الجسيم من ثنائية، إلى الجسيمات الأولية للمادة، لاسيما إلى الالكترونات. إوضح أن موجةً ماديةً ماقد "تناظر" إلكترونا متحركا، تماما مثلما تناظر موجةُ الضوء كُم ضوء متحركا. لم يكن مفهوما آنئذ ماذا تعني كلمة "تناظر" في هذا الخصوص. لكن ده برولي اقترح ضرورة أن يفسر الشرط الكماتي في نظرية بوهر على أنه تعبير عن موجات المادة. إن موجة تدور حول نواة لايمكن أن تكون موجة موقوفة إلا لأسباب هندسية، إن محيط المدار لابد أن يكون عددا صحيحا تاما من أضعاف طول الموجة. بهده الطريقة ربطت فكرة ده برولي الشرط الكماتي (والذي كان دائما عاملا دخيلا في ميكانيكا الإلكترونات) بالثنائية بين الموجة والجسيم.

أما الاختلاف بين التردد المداري المحسوب للإلكترونات، وتردد الإشعاع المنبعث فقد كانت نظرية بوهر تفسره كقصور في مفهوم المدار الإلكتروني. كان هذا المفهوم مبهما إلى حدما منذ البداية. على أن الالكترونات في المدارات العليا تتحرك على مسافات بعيدة جدا من النواة، تماما مثلما تفعل عندما نراها وهي تتحرك خلال الغرفة السحابية. هنا يمكننا أن نتحدث عن المدارات الإلكترونية. ومن ثم فلقد كان من المُرْضي حقا بالنسبة لهذه الترددات العليا أن تقترب ترددات الاشعاع المنبعث من الترددات المدارية وتوافقياتها العليا. كما أن بوهر قد اقترح بالفعل في أبحاثه المبكرة المنشورة، أن شدة خطوط الطيف المنبعث تقترب من شدة التوافقات المناظرة. ولقد أثبت مبدأ التناظر هذا قيمته العظمى في الحسابات التقريبية لشدة الخطوط الطيفية. ومن ثم سنصل إلى انطباع بأن نظرية بوهر تعطي تصويرا وصفيا لاكميا لما يحدث داخل الذرة، بأن ثمة ملمحا جديدا لسلوك المادة قد عُبّر عنه كميا تحت الشروط الكماتية، التي ترتبط بدورها بالثنائية بين الموجات والجسيمات.

وأخيرا ظهرت الصيغة المضبوطة لنظرية الكم من خلال تطويرين مختلفين. أما الأول فقد نشأ عن مبدأ بوهر للتناظر. علينا أن نتخلى عن المدار الإلكتروني، لكن علينا أن نستبقيه في حدود أعداد الكم الكبيرة، نقصد للمدارات الكبيرة. في هذه الحالة الأخيرة يعطي الاشعاع المنبعث (عن طريق تردداته وشدته) صورة للمدار الالكتروني، إنه يمثل مايسميه الرياضيون مفكوك فورييه للمدار. اقترحت الفكرة نفسُها أن نكتب القوانين الميكانيكية، ليس كمعادلات لمواقع وسرعات الالكترونات، وإنما كمعادلات لترددات وسعات مفكوك فورييه الخاص بها. فإذا ابتدأنا بمثل هذه المعادلات وحورناها قليلا جدا فلنا أن نأمل في الوصول إلى علاقات لهذه المقادير تناظر ترددات وشدة الشعاع المنبعث، حتى بالنسبة للمدارات الصغيرة وللحالة الأرضية (العادية) للذرة. من الممكن تنفيذ هذه الخطة فعلا. ولقد قادت في صيف عام ١٩٢٥ إلى صورية رياضية أطلق عليها اسم ميكانيكا المصفوفات، أو ـ بشكل أكثر عمومية ـ ميكانيكا الكم. استُبدلت بمعادلات الحركة في ميكانيكا نيوتن معادلاتٌ شبيهة بين مصفوفات، ولقد كان من الغريب أن نجد أنه من الممكن أن نستنبط من النظام الجديد الكثيرَ من نتائج ميكانيكا نيوتن أيضا ـ مثل حفظ الطاقة.... الخ. ثم بينت أبحاث بورن وجوردان وديراك ألاَّ تبادل بين المصفوفات التي تمثل موقع وكمية حركة الالكترون. ولقد اوضحت هذه الحقيقة بجلاء الفارق الجوهري بين ميكانيكا الكم والميكانيكا الكلاسيكية.

أما التطوير الثاني فقد تبع فكرة ده بروليِ عن موجات المادة. حاول شرودنجر أن يضع معادلةً موجية لموجات ده برولي الموقوفة حول النواة. ونجح في أوائل عام ١٩٢٦ في استنباط قيم الطاقة بالنسبة للحالات الموقوفة لذرة الأيدروجين في صورة "جذور كامنة" لمعادلة الموجة، وتمكن من تقديم وصفة أكثر عمومية لتحويل مجموعة معطاة من المعادلات الكلاسيكية للحركة، إلى معادلة موجية مناظرة في فضاء متعدد الأبعاد. ثم تمكن فيما بعد من اثبات أن صوريته لميكانيكا الموجة تعادل رياضيا الصورية القديمة لميكانيكا الكم.

أخيرا توصلنا إذن إلى صورية رياضية متماسكة يمكن تحديدها بأسلوبين متكافئين: بأن نبدأ إما بالعلاقات بين المصفوفات أو بالمعادلات الموجية. تعطي هذه الصورية القيم الصحيحة للطاقة بالنسبة لذرة الأيدروجين. ولم يمض إلا أقل من عام حتى اتضح أنها ناجحة أيضا مع ذرة الهليوم، وكذا مع المشاكل الأكثر تعقيدا للذرات الأثقل. لكن، بأي معنى تصف الصوريةُ الجديدةُ الذرة؟ إن مفارقات الثنائية بين الصورة الموجية والصورة الجسيمية لم تُحل. لقد كانت مختبئة بطريقة ما في النظام الرياضي.

قام بوهر وكرامرز وسلاتر عام ١٩٢٤ بأولى الخطوات ـ وأكثرها تشويقا ـ نحو تفهم حقيقي لنظرية الكم. حاول هؤلاء حل التناقض البادى بين صورة الموجة وصورة الجسيم باستخدام مفهوم موجة الاحتمال. فُسرت الموجات الكهرومغنطيسية على أنها ليست موجات "حقيقية" وإنما هى موجات احتمال، موجات تحدد شدتُها فى كل نقطة، احتمالَ أن تمتص ذرةٌ (أو تَبْعث بالحث) فى هذه النقطة كَمُّ ضوء. وقد أدت هذه الفكرة إلى الاستنباط بأنْ ليس من اللازم أن يكون قانونا حفظ الطاقة وكمية الحركة صحيحين بالنسبة للحدث الفردى، وأنهما قانونان احصائيان فقط، وأنهما صحيحان فقط فى المتوسط الاحصائى. على أن هذا الاستنباط لم يكن صحيحا، وظلت العلاقات بين الصورة الموجية للإشعاع والصورة الجسيمية أكثر تعقيدا.

لكن البحث الذى نشره بوهر وكرامرز وسلاتر قد أوضح ملمحا جوهريا للتفسير الصحيح لنظرية الكم. كان مفهوم موجة الاحتمال هذا شيئا جديدا تماما فى الفيزياء النظرية منذ زمن نيوتن. فالاحتمال فى الرياضة أو فى الميكانيكا الإحصائية هو تعبير عن درجة معرفتنا بالوضع الواقعى. فعندما نلقى بنرد الطاولة، فإننا لانعرف التفاصيل الدقيقة لحركة أيدينا التى تحدد سقوطه. وعلى هذا نقول إن احتمال ظهور أىٍّ من أرقامه السته هو السدس. أما موجة الاحتمال عند بوهر وكرامرز وسلاتر فتعنى أكثر من ذلك، إنها تعنى نزعة إلى شىء ما. كانت صيغةً كميةً للمفهوم القديم عما يمكن أن يحدث وإن لم يوجد بالفعل (أو يطلق عليه مفهوم "البوتنشيا") الذى نجده فى الفلسفة الأرسطية. لقد قدمت شيئا جديدا يقف فيما بين فكرة الحدث والحدث الواقعى. هو نوع من الواقع الفيزيقى يقع وسطا مابين الامكان والواقع.

وعندما تحدد الاطار الرياضى لنظرية الكم فيما بعد، تبنّى بورن فكرة موجة الاحتمال هذه، وقدم تعريفا واضحا للكمية الرياضية فى الصورية، التى كان لها أن تُترجم كموجة احتمال. لم تكن موجة ذات أبعاد ثلاثة مثل الموجات المرنة أو الموجات الراديوية وإنما هى موجة فى تَشَكُّل الفضاء عديد الأبعاد، ومن ثم فهى كمية رياضية مجردة.

لم يكن واضحا فى كل حالة، وحتى ذلك الوقت (صيف ١٩٢٦)، كيف يمكن للصورية الرياضية أن تُستخدم فى وصف حالة تجريبية معينة. إننا نعرف كيف نصف الحالات الموقوفة لذرة، لكنا لانعرف كيف نصف حدثا أبسط بكثير ـ مثلا: إلكترونا يتحرك خلال غرفة سحابية.

وعندما بيّن شرودنجر فى ذلك الصيف أن صوريته لميكانيكا الموجة تعادل ميكانيكا الكم رياضيا، حاول لفترة أن يهجر تماما فكرة الكمات و "القفزات الكماتية"، وأن يستبدل بالالكترونات فى الذرة موجات المادة ثلاثية الأبعاد. أما ماألهمه القيام بهذه المحاولة فكانت نتائجه، إذ بدا منها أن مستويات الطاقة لذرة الأيدروجين فى نظريته هى ببساطة الترددات الكامنة لموجات المادة الموقوفة. وعلى هذا فقد تصور أنه من الخطأ أن نسميها بالطاقات، فهى ليست سوى ترددات. لكن المناقشات التى تمت فى خريف عام ١٩٢٦ بكوبنهاجن بين بوهر وشرود نجر، ومجموعة فيزيائيى كوبنهاجن قد أظهرت أن مثل هذا التفسير لايكفى حتى لتفسير صيغة بلانك للإشعاع الحرارى.

وخلال الأشهر التى أعقبت هذه المناقشات، أدت دراسةٌ مكثفة لكل القضايا المتعلقة بتفسير نظرية الكم، فى كوبنهاجن، أدت فى النهاية إلى توضيح للموقف كامل ومُرض كما يعتقد الكثير من الفيزيائيين،، لكنه لم يكن حلا يمكن تقبُّله بسهولة. أتذكر مناقشاتى مع بوهر لساعات طويلة استمرت حتى وقت متأخر من الليل، وانتهت إلى مايقرب من اليأس، وعندما انطلقتُ وحدى بعد نهاية النقاش أتمشى فى حديقة مجاورة، أخذتُ أعيد على نفسى المرة بعد المرة السؤالَ: أمِن الممكن أن تكون الطبيعة بمثل هذا السخف الذى تتبدى به فى هذه التجارب الذرية؟

ولقد حدث الاقتراب من الحل النهائى عن طريقين مختلفين. كان واحد منهما التفافا حول السؤال. فبدلا من أن نسأل "كيف يمكن للشخص أن يعبر فى النظام الرياضى المعروف عن وضع تجريبى معين؟ " وُضِع السؤال " أمِن المحتمل أن يكون صحيحا أنَّ مايظهر فى الطبيعة من الأوضاع التجريبية، هو فقط ما يمكن التعبير عنه بالصورية الرياضية؟ ". ولقد أدى الاقتراح بأن هذا بالفعل صحيح، أدى إلى تقييد فى استعمال تلك المفاهيم التى كانت أساس الفيزياء الكلاسيكية منذ نيوتن. يمكننا أن نتحدث عن موقع إلكترون وعن سرعته كما فى الميكانيكا النيوتونية، كما نستطيع أن نلحظها ونقيسها، لكننا لانستطيع أن نحدد كليهما فى نفس الوقت بدقة على نحو حاسم. لكن اتضح أن حاصل ضرب اللادقة للمقدارين ليس سوى ثابت بلانك مقسوما على كتلة الجسيم. من الممكن صياغة علاقات مشابهة بالنسبة لأوضاع تجريبية أخرى. وتسمى هذه عادة علاقات لامحققية أو مبدأ اللاحتمية. لقد تعلمنا أن المفاهيم القديمة تلائم الطبيعة لكن بشكل غير دقيق.

أما الطريق الآخر فكان مفهوم التتام لبوهر. وَصَفَ شرودنجر الذرة نظاما لايتكون من نواة وإلكترونات، وإنما من نواة وموجات مادة. وصورة موجات المادة هذه تحمل بالتأكيد عنصرا من الحقيقة. اعتبر بوهر الصورتين ـ الجسيمية والموجية ـ وصفين متتامين لنفس الواقع. لايحمل أى من هذين الوصفين إلا جزءا من الحقيقة. لابد أن يكون ثمة حدود لاستخدام مفهوم الجسيم، كمّا لاستخدام مفهوم الموجة، وإلا لما استطاع المرء تجنب التناقضات. فإذا وضعنا هذه الحدود فى الاعتبار (وهى حدود يمكن التعبير عنها بالعلاقات اللامحققية) اختفت التناقضات.

بهذه الطريقة أصبح لدينا منذ ربيع عام ١٩٢٧ تفسير متماسك لنظرية الكم يطلَق عليه عادة اسم "تفسير كوبنهاجن". عُرّض هذا التفسير للاختبار الحاسم فى خريف عام ١٩٢٧ بمؤتمر سولفاى فى بروكسل. أعيدت مناقشة التجارب التي كانت تؤدى دائما إلى أسوأ التناقضات، اعيدت بكل تفاصيلها مرارا وتكرارا، لاسيما بواسطة آينشتين. وابتكرت تجارب مثالية جديدة لاكتشاف أى تناقض ذاتى محتمل للنظرية. لكن اتضح أن النظرية متماسكة وأنها توافق التجارب فى حدود مانرى.

ستكون تفاصيل تفسير كوبنهاجن هو موضوع الفصل التالى. لكن علينا أن نؤكد هنا أن الأمر قد تطلّب أكثر من ربع قرن منذ ظهرت الفكرة الأولى لوجود كم الطاقة حتى توصلنا إلى التفهم الحقيقي لقوانين الكم النظرية. وهذا يشير إلى التغير الكبير الذى كان لابد أن يحدث فى المفاهيم الأساسية المتعلقة بالواقع قبل أن يتمكن المرء من تفهم الوضع الجديد.



تفسير كوبنهاجن لنظرية الكم

يبدأ تفسير كوبنهاجن لنظرية الكم من مفارقة. إن أى تجربة فى الفيزياء ـ سواء كانت تتعلق بظواهر الحياة اليومية أو بحدث ذرى ـ ليس لها إلا أن توصف بلغة الفيزياء الكلاسيكية. ومفاهيم الفيزياء الكلاسيكية تشكل لغة يمكن بها أن نصف نُظُم تجاربنا وأن نصوغ نتائجها. ونحن لانستطيع ولايجب أن نستبدل بهذه المفاهيم غيرها. لكن تطبيق هذه المفاهيم تحدده العلاقات اللامحققية. ولابد لنا أن نتذكر هذا المجال المحدود لقابلية المفاهيم الكلاسيكية للتطبيق أثناء استخدامها، لكنا لانستطيع ولايجب أن نحاول تحسينها.

من المفيد لحسن تفهم هذه المفارقة أن نقارن بين اجراءات التفسير النظرى لتجربة فى الفيزياء الكلاسيكية وفى نظرية الكم. وعلى سبيل المثال فقد نبدأ فى ميكانيكا نيوتن بأن نقيس موقع وسرعة الكوكب الذى نود دراسته. ثم نترجم نتائج الملاحظات إلى صورة رياضية بأن نستنبط من الملاحظات أرقاما لإحداثيات الكوكب وكمية حركته. ثم نستخدم معادلات الحركة كى نستنبط من قيم الاحداثيات وكمية الحركة فى وقت معين ما ستكون عليه هذه القيم أو غيرها من خصائص النظام فى وقت لاحق. بهذه الطريقة يمكن للفلكى أن يتنبأ بخصائص النظام فى وقت لاحق. إنه يستطيع مثلا أن يتنبأ بالضبط بوقت خسوف القمر.

أما الإجراء فى نظرية الكم فيختلف قليلا. فلقد نهتم مثلا بحركة إلكترون خلال غرفة سحابية، وقد نستطيع أن نحدد بملاحظات من نوع ما موقعه الابتدائى وسرعته. لكن هذا التحديد لن يكون دقيقا، إذ سيحتوى على الأقل على اللادقة الناتجة عن العلاقات اللامحققية، وربما احتوى أيضا على أخطاء أكبر ناجمة عن صعوبة التجربة. وعدم الدقة الناجم عن العلاقات اللامحققية هو الذى يسمح بأن نترجم نتيجة الملاحظة إلى المخطط الرياضى لنظام

الكم. ستسجِّل دالةُ احتمال تمثل الوضع التجريبى وقت القياس، وتتضمن حتى الأخطاء المحتملة فى القياس.

تمثل دالة الاحتمال مزيجا من شيئين: بعضا من الحقيقة وبعضا من معرفتنا بالحقيقة. إنها تمثل حقيقةً بقدر ماتنسب من يقين كامل للوضع الابتدائى وقت البدء: الإلكترون يتحرك بالسرعة الملحوظة عند الموقع الملحوظ. و "الملحوظ" تعنى الملحوظ داخل درجة دقة التجربة. وهى تمثل معرفتنا بالنسبة لمراقب آخر قد يستطيع أن يعرف موقع الإلكترون بدرجة دقة أكبر. والخطأ التجريبى لايمثل ـ أو على الأقل لايمثل لحد ما ـ خصيصة من خصائص الإلكترون، وإنما نقصا فى معرفتنا عن الإلكترون. وهذا النقص فى المعرفة يُعَبَّر عنه أيضا فى دالة الاحتمال.

يلزم فى الفيزيقا الكلاسيكية أن يأخذ المرء فى اعتباره أيضا خطأ الملاحظة، عند القيام بتجربة دقيقة. وعلى ذلك فسيحصل الفرد على توزيع احتمال للقيم الابتدائية للإحداثيات والسرعات ومن ثم يصل إلى شىء شبيه جدا بدالة الاحتمال بميكانيكا الكم، إن ماينقص الفيزياء الكلاسيكية ليس سوى العلاقات اللامحققية الضرورية، الراجعة إلى العلاقات اللامحققية.

فإذا ماتم تحديد دالة الاحتمال فى نظرية الكم من الملاحظة عند البداية، أمكننا باستخدام قوانين نظرية الكم أن نحسب دالة الاحتمال فى أى وقت لاحق، ومن ثم نستطيع أن نحدد احتمال أن يتخذ مقياسٌ معين قيمةً بذاتها. يمكننا مثلا أن نتنبأ باحتمال العثور على الإلكترون فى وقت لاحق فى نقطة بعينها بالغرفة السحابية. على أنه يلزم أن نؤكد أن دالة الاحتمال لاتمثل فى ذاتها سياقا من الوقائع يجرى فى سياق الزمن. إنها تمثل نزعة للوقائع ولمعرفتنا بالوقائع. يمكننا أن نربط دالة الاحتمال بالواقع إذا ماتحقق شرط أساسى واحد: إذا قمنا بأخذ قياس جديد لتحديد خصيصة معينة للنظام. عندئذ فقط ستسمح لنا دالة الاحتمال أن نحسب النتيجة المحتملة للقياس الجديد. ومرة أخرى سنعبّر عن القياس الجديد بلغة الفيزياء الكلاسيكية.

وعلى هذا فإن التفسير النظرى لأية تجربة يتطلب ثلاث خطوات واضحة المعالم: (١) ترجمة الوضع التجريبى الابتدائى إلى دالة احتمال، (٢) متابعة هذه الدالة فى سياق الزمن،

(٣) تقرير قياس جديد للنظام يتم أخذه، ويمكن عندئذ أن نحسب نتيجته من دالة الاحتمال. فأما بالنسبة للخطوة الأولى فسنجد أن تحقيق العلاقات اللامحققية شرط لازم، وأما بالنسبة للخطوة الثانية فلايمكن أن توصف بلغة المفاهيم الكلاسيكية، ليس ثمة وصف لما يحدث للنظام بين الملاحظة الابتدائية والقياس التالي. وفي الخطوة الثالثة وحدها نتحول ثانية من "الممكن" إلى "الواقعي".

دعنا نوضح هذه الخطوات الثلاث في تجربة بسيطة مثالية. قيل إن الذرة تتألف من نواة وإلكترونات تدور حول النواة. ولقد ذُكِر أن مفهوم المدار الإلكتروني مفهوم مشكوك فيه. يمكننا أن نجادل بالقول إنه من الممكن من ناحية المبدأ على الأقل أن نراقب الإلكترون في مداره. يمكن للمرء ببساطة أن يرقب الذرة من خلال ميكروسكوب ذي قدرة عالية جدا على التوضيح، فيرى الإلكترون يتحرك في مسلكه. لكنا بالتأكيد لانستطيع أن نصل إلى مثل هذه القدرة العالية على التوضيح باستخدام ميكروسكوب يعمل بالضوء العادي، إذ لايجوز أبدا أن تقل لادقة قياس الموقع عن طول موجة الضوء. إنما يصلح ميكروسكوب يستخدم أشعة جاما طول موجتها يقل عن حجم الذرة. لم يصنَّع بعد مثل هذا الميكروسكوب، لكن هذا لايمنعنا من مناقشة التجربة المثالية.

هل الخطوة الأولى ممكنة ـ خطوة ترجمة نتيجة الملاحظة إلى دالة احتمال؟ إنها ممكنة فقط إذا ماوفينا العلاقة اللامحققية بعد الملاحظة. سنعرف موقع الإلكترون بدقة يحددها طول موجة أشعة جاما. ربما كان الإلكترون عمليا في حالة سكون قبل الملاحظة. لكن كم ضوء واحدا على الأقل من أشعة جاما لابد أن يمر من الميكروسكوب عند الملاحظة ولابد أن يحرفه الإلكترون أولا، ومن ثم فلابد أن كم الضوء سيَدْفَع الإلكترون، فتتغير كمية حركته وسرعته. من الممكن أن نبين أن لامحققية هذا التغير لها من الحجم مايضمن صحة العلاقات اللامحققية. ليس إذن ثمة صعوبة تكتنف الخطوة الأولى.

نستطيع في نفس الوقت وبسهولة أن نرى أنْ ليس ثمة وسيلة لملاحظة مدار الإلكترون حول النواه. تبين الخطوة الثانية دفقة موجية تتحرك لاحول النواة بل بعيدا عن الذرة، لأن أول كم ضوء لابد وأنْ قد طرد الإلكترون خارج الذرة. فإذا ماكان طول موجة أشعة جاما أصغر بكثير من حجم الذرة كانت كمية حركة كم الضوء لأشعة جاما أكبر بكثير من كمية حركة الإلكترون الأصلية. وعلى هذا فإن أول كم ضوء سيكفي لطرد الإلكترون من الذرة. ونحن

لانستطيع أبدا أن نلحظ أكثر من نقطة على مدار الإلكترون، وعلى هذا فليس ثمة مدار بالمعنى المفهوم. أما الملاحظة التالية ـ الخطوة الثالثة ـ فستبين الإلكترون فى طريقه خارج الذرة. وبشكل عام فليس هناك طريقة لوصف مايحدث بين الملاحظات المتعاقبة. طبيعى أنه من المغرى أن نقول إن الإلكترون لابد وأنْ قد كان فى مكان ما بين ملاحظتين، وأن الإلكترون لذلك لابد أنْ قد اتخذ طريقا ما أو مدارا حتى لو كان من المستحيل معرفة هذا الطريق. سيكون هذا جدلا معقولا فى الفيزياء الكلاسيكية، أما فى نظرية الكم فسيكون سوء استخدام للُّغة لايمكن تبريره ـ كما سنرى. أمَّا أن نأخذ هذا التحذير على أنه تقرير عن الطريقة التى ينبغى أن نتحدث بها عن الأحداث الذرية، أم أن نأخذه على أنه تقرير عن الأحداث ذاتها (أى أن نأخذه على أنه إلماع إلى إبستمولوجيا أو إلى أنطولوجيا) فهذا أمر لن نقطع الآن فيه برأى. على أية حال، علينا أن نكون فى غاية الحذر عند صياغة كلمات أى تقرير يتعلق بسلوك الجسيمات الذرية.

والواقع أننا لانحتاج أن نتحدث عن الجسيمات على الاطلاق. من الملائم فى الكثير من التجارب أن نتحدث عن موجات المادة، أن نتحدث مثلا عن الموجات المادية الموقوفة حول النواة الذرية. ومثل هذا الوصف يتناقض مباشرة مع الوصف الآخر إذا لم ننتبه إلى القيود التى تفرضها العلاقات اللامحققية. ومن خلال هذه القيود يمكننا تجنب هذه التناقضات. واستخدام "الموجات المادية" ملائم مثلا عند التعامل مع الإشعاع الذى تطلقه الذرة. فترددات وشدة هذا الاشعاع توفر بيانات عن توزيع الشحنة المتذبذبة فى الذرة، وفيها تصبح الصورة الموجية أقرب إلى الحقيقة من الصورة الجسيمية. وعلى هذا فقد أيد بوهر استخدام الصورتين معا، وهذا ما أسماه "التتام" بينهما. طبيعى أن تكون الصورتان متتامتين، لأن نفس الشيء لايمكن أن يكون جسيما (أى مادة محددة فى حجم ضئيل جدا) وأن يكون فى نفس الوقت موجة (أى مجالا ينتشر على حيز كبير)، لكن كلاً منهما يتمم الآخر. فإذا مالعبنا بكلتا الصورتين، بأن نتحرك من صورة إلى أخرى وبالعكس، فسنصل أخيرا إلى الانطباع الصحيح للواقع الغريب وراء تجاربنا الذرية. استخدم بوهر مفهوم "التتام" فى مواقع عديدة فى تفسير نظرية الكم. إن معرفة موقع الجسيم متمم لمعرفة سرعته أو كمية حركته. فإذا عَرفنا أيهما بدرجة دقة عالية فلايمكن أن نعْرف الآخر بدقة عالية. على أننا لابد أن نعْرف كليهما لتحديد سلوك النظام. إن الوصف الزمكانى للأحداث متمم لوصفها الحتمانى. إن دالة الاحتمال تتبع معادلة للحركة تماما مثلما الأحداثيات فى ميكانيكا الكم. فَتَغَيُّرها فى سياق الزمن تحدده تماما معادلة

ميكانيكا الكم. لكنها لاتسمح بوصف في الفضاء والزمن. غير أن الملاحظة تفرض وصفا في الفضاء والزمن إن تكن تكسر الاستمرار المقرر لدالة الاحتمال بتغييرها معرفتنا بالنظام.

والثنائية بين وصفين مختلفين لنفس الواقع لم تعد تشكل عموما أية صعوبة، لأننا نعرف من الصياغة الرياضية للنظرية أن التناقضات لايمكن أن تظهر. ولقد وردت الثنائية أيضا بين الصورتين المتتامتين ـ الموجات والجسيمات ـ وبوضوح، في مرونة النظام الرياضي. فالصورية تكتب عادة بحيث تشبه ميكانيكا نيوتن، وبها معادلات الحركة لإحداثيات وكمية حركة الجسيمات. لكنا نستطيع بتحويل بسيط أن نكتبها بحيث تشبه معادلةً موجية لموجة مادية عادية ذات أبعاد ثلاثة. وعلى هذا فإن امكانية اللعب بالصور المتتامة المختلفة لها ماينا ظرها في التحولات المختلفة للنظام الرياضي. إنها لاتقود إلى أية صعوبات في تفسير كوبنهاجن لنظرية الكم.

أما الصعوبة الحقيقية في تفهم هذا التفسير فتظهر عندما نسأل السؤال الشهير: ولكن ما الذي يحدث "فعلاً" في أية واقعة ذرية؟ سبق القول بأننا نستطيع أن نصوغ آلية الملاحظة ونتائجها بلغة المفاهيم الكلاسيكية. لكن مانستنبطه من الملاحظة هو دالة احتمال، تعبيراً رياضيا يجمع مابين تقارير عن احتمالات أو نزعات وتقارير عن معرفتنا بالحقائق. وعلى هذا فقد لانستطيع تماما أن نجعل نتيجة الملاحظة موضوعية، إننا لانستطيع أن نصف ما "يحدث" بين هذه الملحوظة والملحوظة التالية لها. يبدو هذا كما لو كنا قد أدخلنا إلى النظرية عنصرا من الذاتية، كما لو كنا نود أن نقول إن: مايحدث يتوقف على الطريقة التى نلاحظه بها، أو على حقيقة أننا نلاحظه. وقبل أن نناقش مشكلة الذاتية يلزم أن نشرح بوضوح لماذا يقابل المرءُ صعوبات عضالاً إذا حاول أن يصف مايحدث بين ملاحظتين متعاقبتين.

من الملائم لهذا الغرض أن نناقش التجربة المثالية التالية: افترض أن مصدرا صغيرا لضوء موحد اللون يشع نحو حاجز أسود به ثقبان صغيران. قد لايكون قطر الثقبين أكبر بكثير من طول موجة الضوء، لكن المسافة بينهما ستكون أكبر بكثير. وعلى مبعدة من الحاجز هناك لوح فوتوغرافي يسجل الضوء الساقط. إذا وصفنا هذه التجربة بلغة الصورة الموجية فسنقول إن الموجة الأصلية ستخترق الثقبين، وسيكون ثمة موجات ثانوية كروية تبدأ من الثقبين وتتداخل مع بعضها بعضا، وسينتج عن التداخل شكل ذو كثافات متباينة على اللوح الفوتوغرافي.

وتسويد اللوح الفوتوغرافي عملية كماتية، هي تفاعل كيماوي ينتجه كم ضوء واحد، ومن ثم فلابد أن نتمكن أيضا من وصف التجربة بلغة كمات الضوء. فإذا سُمح لنا أن نحكي مايحدث لكم ضوء واحد فيما بين انبعاثه من مصدر الضوء وامتصاصه في اللوح الفوتوغرافي، فستمضي القصة كما يلي: يمرُّ كَمٌّ الضوء من خلال الثقب الأول أو من خلال الثقب الثاني. فإذا مامر خلال الثقب الأول ثم استطار فإن احتمال امتصاصه عند نقطة معينة من اللوح الفوتوغرافي لايمكن أن يتوقف على ما إذا كان الثقب الثاني مغلقا أو مفتوحا، إذ لن يتغير التوزيع الاحتمالي على اللوح إذا لم يكن مفتوحا غير الثقب الأول وحده. فإذا كررنا التجربة مرات عديدة ثم جمعنا كل الحالات التي مر فيها كم الضوء خلال الثقب الأول، فإن تسويد اللوح الذي يرجع لهذه الحالات جميعا سيناظر توزيع الاحتمال هذا. وإذا لم نأخذ في الاعتبار غير كمات الضوء التي مرت خلال الثقب الثاني فإن التسويد سيناظر توزيع احتمال ينشأ عن الفرض بأن الثقب الثاني وحده هو المفتوح. وعلى هذا فإن الاسوداد الكلي لابد أن يكون مجرد حاصل جمع التسويد الناتج في الحالتين سويا، نعني أنه لايجب أن يكون ثمة نموذج تداخل. لكنا نعرف أن هذا ليس صحيحا، وأن التجربة ستظهر نموذج التداخل. وعلى هذا فإن القول إن أي كم ضوء لابد أن يمر إما خلال الثقب الأول أو خلال الثقب الثاني هو مشكل ويؤدي إلى تناقضات. يوضح هذا المثال بجلاء أن مفهوم دالة الاحتمال لايسمح بأن نصف مايحدث بين ملاحظتين. وأي محاولة للعثور على مثل هذا الوصف لابد أن تؤدي إلى تناقضات. وهذا إنما يعني أن استعمال كلمة "يحدث" مقصور فقط على الملاحظة.

إن هذه نتيجة غريبة حقا، إذ يبدو أنها تشير إلى أن الملاحظة تلعب دورا حاسما في الحدث، وأن الواقع يتباين، ويعتمد على ما إذا كنا نلاحظه أو لا نلاحظه. فإذا أردنا أن نوضح هذه النقطة بشكل أوسع فعلينا أن نحلل عملية الملاحظة بشكل أكثر دقة.

من المهم، باديء ذي بدء، أن نتذكر أننا لا نهتم في العلوم الطبيعية بالكون ككل ـ ونحن منه ـ وإنما نوجه اهتمامنا إلى جزء معين من الكون ونجعله محل دراستنا. والعادة أن يكون هذا الجزء، في الفيزياء الذرية، شيئا غاية في الصغر، جسيما ذريا أو مجموعة من مثل هذه الجسيمات قد تكون أكبر بكثير ـ والحجم هنا لايهم، لكن المهم أن جزءا كبيرا من الكون ـ ومنه نحن ـ لا ينتمي إلى هذا الشيء.

والآن، يبدأ التفهم النظري للتجربة بالخطوتين اللتين سبقت مناقشتهما. في الخطوة الأولى

علينا أن نصف ترتيبات التجربة (يضاف إليها فى آخر الأمر ملاحظةٌ أولى) أن نصفها بلغة الفيزياء الكلاسيكية، وأن نترجم هذا الوصف إلى دالة احتمال. تتبع هذه الدالة قوانين نظرية الكم، ومن الممكن أن نحسب تغيرها مع الزمن - وهذا تغير مستمر - وذلك من الأوضاع عند البداية. وهذه هى الخطوة الثانية. تضم دالة الاحتمال عناصر موضوعية وأخرى ذاتية، هى تحوى تقارير عن احتمالات أو نزعات (أو مايسمى فى الفلسفة الأرسطية: "بوتنشيا")، وهذه تكون تقارير موضوعية تماما لاتعتمد إطلاقا على مراقب، كما تحوى تقارير عن معرفتنا بالنظام، وهذه بالطبع ستكون ذاتية بقدر ما قد تختلف فيه باختلاف المراقب. فى الحالات المثالية سنجد أن العامل الذاتي بدالة الاحتمال قد يكون تافها من الناحية العملية مقارنة بالعامل الموضوعى. هذا مايسميه الفيزيائى "حالة خالصة".

فإذا وصلنا إلى الملاحظة التالية، والتى يمكن التنبؤ بنتيجتها من النظرية، فمن المهم أن ندرك أن هذا الشىء موضوعَ بحثنا لابد أن يكون متصلا اتصالا مباشرا بالجزء الآخر من العالم، نعنى بالترتيبات التجريبية (وقضيب القياس... الخ) قبل لحظة الملاحظة، أو على الأقل عندها . وهذا يعنى أن معادلة الحركة بالنسبة لدالة الاحتمال تحمل الآن أثر التعامل مع أداة القياس. وهذا الأثر يُدخِل عاملا جديدا من اللامحققية، لأن أداة القياس توصف بالضرورة بلغة الفيزياء الكلاسيكية، ومثل هذا الوصف يحمل كل اللامحققيات المتعلقة بالتركيب الميكروسكوبى لهذه الأداة والتى نعرفها من الديناميكا الحرارية. ولما كانت أداة القياس ترتبط ببقية العالم، فإنها تضم فى الواقع لامحققيات التركيب الميكروسكوبى للعالم كله. يمكن أن نقول إن هذه اللامحققيات موضوعية بقدر ماهى نتيجة للوصف بلغة الفيزياء الكلاسيكية وبقدر عدم اعتمادها على المراقب. ولقد نقول إنها ذاتية بقدر تعلقها بمعرفتنا القاصرة عن العالم.

وبعد أن يتم هذا التفاعل سنجد أن دالة الاحتمال تحمل عنصر الموضوعية (فى النزعة) وعنصر الذاتية (فى قصور المعرفة)، حتى لو كانت "حالة خالصة" قبلا. ولهذا السبب بالتحديد لايمكن عموما أن نتنبأ بنتيجة الملاحظة بيقين. إن مايمكن التنبؤ به هو احتمال حصول نتيجة معينة للملاحظة، ومن الممكن التحقق من هذا الاحتمال بتكرار التجربة مرات عديدة. ودالة الاحتمال لاتصف واقعة بذاتها - على عكس النهج الشائع فى ميكانيكا نيوتن - وإنما مجموعة كاملة من الوقائع المحتملة، على الأقل أثناء عملية الملاحظة.

والملاحظة نفسها تغير دالة الاحتمال بشكل متقطع غير متصل، هي تختار من بين كل الوقائع المحتملة الواقعة الفعلية التي حدثت. ولما كانت معرفتنا بالنظام قد تغيرت من خلال الملاحظة بشكل متقطع، فإن تمثيلها الرياضي سيتخذ أيضا شكلَ تغير متقطع، أو مايسمى "قفزة الكم". وعندما يُستخدم القولُ القديم المأثور "الطبيعة لا تتحرك في قفزات" أساسا لنقد نظرية الكم، ففي مقدورنا أن نردد بأن معرفتنا يمكن بالتأكيد أن تتغير فجأة، وأن هذه الحقيقة تبرر استخدام المصطلح: "قفزة الكم".

وعلى هذا فإن الانتقال من "الممكن" إلى "الواقعي" يحدث خلال فعل الملاحظة. فإذا أردنا أن نصف مايحدث في واقعة ذرية فعلينا أن ندرك أن كلمة "يحدث" لاتنطبق إلا على الملاحظة وليس على الوضع بين ملاحظتين. إنها تنطبق على الفعل الفيزيقي لا النفساني للملاحظة، ويمكننا أن نقول إن الانتقال من "الممكن" إلى "الواقعي" يتم بمجرد وقوع التفاعل بين الشيء وأداة القياس، أي بين الشيء وبقية العالم، إنه لايرتبط بتسجيل ذهن الملاحظ للنتيجة. على أن التغير المتقطع في دالة الاحتمال يتم مع عملية التسجيل، ذلك لأن المتغير المتقطع لمعرفتنا في لحظة التسجيل هوماينعكس في التغير المتقطع لدالة الاحتمال.

وفي النهاية، ما المدى الذي وصلناه الآن إذن في وصف العالم وصفا موضوعيا - لاسيما العالم الذري؟ يبدأ العلم في الفيزياء الكلاسيكية من الاعتقاد - أم تراه الوهم؟ - بأننا نستطيع أن نصف العالم (أو أجزاء منه على الأقل) دون أي احالة إلى انفسنا. إن هذا ممكن جدا إلى حد بعيد. إننا نعرف بوجود مدينة لندن سواء رأيناها أم لم نرها. ولقد نقول إن الفيزيقا الكلاسيكية هي مجرد تصور لكمال، بالقدر الذي نستطيع به أن نتحدث عن أجزاء من العالم دون أي إحالة إلى أنفسنا. ولقد قاد نجاحها إلى المثل الأعلى العام لوصف موضوعي للعالم. لقد أضحت الموضوعية هي المعيار الأول لقيمة أي نتيجة علمية. هلاَّ يزال تفسير كوبنهاجن لنظرية الكم يطيع هذا المثل الأعلى؟ ربما نستطيع أن نقول إن نظرية الكم تناظر هذا المثل إلى الحد الممكن. المؤكد أن نظرية الكم لاتحوي ملامح ذاتية حقيقية، إنها لا تُدخل ذهن الفيزيائي كجزء من الواقعة الذرية. لكنها تبدأ من تقسيم العالم إلى "الموضوع" وبقية العالم، ومن حقيقة أننا في الوصف نستخدم المفاهيم الكلاسيكية - على الأقل بالنسبة لبقية العالم. وهذا التقسيم - من الناحية التحكمية والتاريخية - هو نتيجة مباشرة لمنهجنا العلمي، واستخدام المفاهيم

الكلاسيكية هو فى نهاية المطاف نتيجة لطريقتنا العامة فى التفكير. لكن هذا بالفعل إحالة إلى أنفسنا. وإلى هذا الحد تكون موضوعيةُ وصفنا غيرَ كاملة.

ذكرنا فى البداية أن تفسير كوبنهاجن لنظرية الكم يبدأ بمقارنة. إنه يبدأ من حقيقة أننا نصف تجاربنا بلغة الفيزياء الكلاسيكية، بينما نعرف فى نفس الوقت أن هذه المفاهيم لا تلائم الطبيعة بدقة، والتوتر بين نقطتى البداية هاتين هو أصل الطبيعة الاحصائية لنظرية الكم. وعلى هذا فلقد اقتُرح أحيانا أن علينا أن نهجر المفاهيم الكلاسيكية تماما، وأن تغيرا جذريا فى المفاهيم المستخدمة لوصف التجارب قد يرجع بنا إلى وصف للطبيعة غير احصائى، وموضوعي تماما.

على أن هذا الاقتراح يبنى على سوء تفهم. إن مفاهيم الفيزيقا الكلاسيكية هى مجرد تهذيب لمفاهيم الحياة اليومية، وهى جزء أساسى من اللغة التى تشكل الأساس لكل العلوم الطبيعية. إن موقفنا الواقعى فى العلوم هو أننا نستخدم بالفعل المفاهيم الكلاسيكية لوصف التجارب. ولقد كانت مشكلة نظرية الكم هى أن تجد التفسير النظرى للتجارب على هذا الأساس. لا فائدة ترجى من مناقشة ماذا يمكن عمله لو كنا كائنات أخرى غيرنا نحن. وهنا يجب أن ندرك ـ كما قال فون فايتسيكر ـ أن "الطبيعة أقدم من الإنسان، لكن الإنسان أقدم من العلوم الطبيعية". والفقرة الأولى من الجملة تبرر الفيزياء الكلاسيكية ومَثَلُها الأعلى هو الموضوعية الكاملة. أما الفقرة الثانية فتخبرنا عن السبب فى أننا لا نستطيع أن نهرب من مفارقة نظرية الكم، نعنى حاجتنا إلى استخدام المفاهيم الكلاسيكية.

علينا أن نضيف بعض التعليقات على الإجراء الواقعى فى التفهم الكماتى النظرى للوقائع الذرية. قلنا إننا نبدأ عادة بتقسيم العالم إلى شىء سنقوم بدراسته، وبقية العالم، وأن هذا التقسيم هو تقسيم تحكمى لحد ما. والحق أن النتيجة النهائية لن تتغير إذا نحن مثلا أضفنا إلى الشىء الذى ندرسه جزءا من آلة القياس أو آلة القياس بأكملها ثم طبقنا قوانين الكم على هذا الشىء بعد أن أصبح هكذا أكثر تعقيدا. يمكننا أن نبين أن مثل هذا التحوير فى المعالجة النظرية لن يغير من التنبؤات الخاصة بالتجربة. وهذا ينتج رياضيا من حقيقة أن قوانين نظرية الكم تكاد تتطابق مع القوانين الكلاسيكية بالنسبة للظواهر التى يمكن اعتبار ثابت بلانك فيها مقدارا غاية فى الضآلة. لكن من الخطأ أن نتصور أن تطبيق قوانين الكم النظرية على آلة القياس قد يساعد فى تجنب المفارقة الجوهرية لنظرية الكم.

أما آلة القياس فهى لاتستحق اسمها إلا إذا كانت على إتصال وثيق ببقية العالم، إلا إذا كان ثمة تفاعل بين الآلة والمراقب. وعلى هذا فإن اللامحققية بالنسبة للسلوك الميكروسكوبى للعالم سيدخل هنا إلى نظام الكم ـ النظرى مثلما يدخل أيضا فى التفسير الأول. فإذا أمكن عزل جهاز القياس عن بقية العالم فلن يكون جهاز قياس لا ولن يمكن على الاطلاق أن نصفه بلغة الفيزياء الكلاسيكية.

وفيما يتعلق بهذا الوضع أكد بوهر أن الأكثر واقعية هو أن نقر بأن التقسيم إلى: الشىء وبقية العالم، ليس تقسيما تحكميا. إن الوضع الواقعى للعمل البحثى بالفيزياء الذرية عادة مايكون هكذا: نحن نود أن نفهم ظاهرة معينة، نود أن ندرك كيف ستنجم هذه الظاهرة عن القوانين العامة للطبيعة. وعلى هذا فإن الجزء من المادة أوالاشعاع الذى يشترك فى الظاهرة هو "الشىء" الطبيعى فى المعالجة النظرية ، ولابد أن ينفصل فى هذا الخصوص عن الآلات المستخدمة فى دراسة الظاهرة. وهذا بالتالى يؤكد عاملا ذاتيا فى وصف الأحداث الذرية. لأن المراقب هو مَنْ صَمَّمَ آلة القياس، وعلينا أن نتذكر أن ما نلاحظه ليس هو الطبيعة فى ذاتها وإنما الطبيعة بعد أن تعرضت لمنهجنا فى الاستفهام. وعملنا العلمى فى الفيزياء هو وضع أسئلة عن الطبيعة بلغة نمتلكها، ثم محاولة إيجاد الإجابة بالتجربة بالطرق المتاحة لنا. بذا تذكرنا نظرية الكم ـ كما يقول بوهر ـ بالحكمة القديمة: إن علينا عندما نبحث فى هارمونية الحياة ألاَّ ننسى أننا نحن الممثلون فى دراما الوجود وأننا نحن المتفرجون. من المفهوم طبعا ـ فى علاقتنا العلمية بالطبيعة ـ أن يصبح لنشاطنا أهمية بالغة عندما نتعامل مع أجزاء من الطبيعة لايمكن اختراقها إلا باستخدام أعقد الأدوات.



نظرية الكم وجذور العلوم الذرية

ترجع فكرة الذرة إلى زمن أبعد بكثير من بداية العلم الحديث بالقرن السابع عشر، سنجد جذورها فى الفلسفة الإغريقية القديمة، إذ كانت فى تلك الحقبة هى المفهوم المحورى للمادية التى قال بها ليوقبّص وديموقريطس. من ناحية أخرى سنجد أن التفسير الحديث للوقائع الذرية لايكاد يشبه الفلسفة المادية الحقيقية، بل الحق أننا نستطيع القول إن الفيزياء الذرية قد حرفت العلم بعيدا عن الاتجاه المادى الذى سادها خلال القرن التاسع عشر. من المثير إذن أن نقارن تطور الفلسفة الاغريقية نحو مفهوم الذرة، بالوضع الحالى لهذا المفهوم فى الفيزياء الحديثة.

أما فكرة أصغر وحدة بناء، لاتنقسم، من المادة فقد ظهرت مرتبطة بتطوير مفاهيم المادة والوجود والصيرورة، التى ميزت الحقبة الأولى للفلسفة الإغريقية. بدأت هذه الحقبة فى القرن السادس قبل الميلاد بطاليس، مؤسس المدرسة الملطية، الذى نسب إليه أرسطاطاليس القول "إن الماء هو العلة المادية لكل شىء". وهذه الجملة، برغم مايبدو بها من غرابة، تعبر عن ثلاث أفكار أساسية فى الفلسفة كما يقول نيتشه. أما الأولى فهى مسألة العلة المادية لكل الأشياء، وأما الثانية فهى الحاجة إلى أن تحل هذه المسألة وفقا للمنطق دون اللجوء إلى التصوف والأساطير. والثالثة هى المسلّمة بأنا لابد أن نتمكن فى النهاية من رد كل شىء إلى مبدأ واحد. كانت جملة طاليس هى أول تعبير عن فكرة جوهر أولى تكون كل الأشياء منه أشكالا عابرة. بالتأكيد لم تكن كلمة "جوهر" هنا تفسر آنئذ بالمعنى المادى الخالص الذى ننسبه إليها الآن. كانت الحياة مرتبطة بهذا "الجوهر" أو متأصلة فيه. كما نسب أرسطاطاليس أيضا لطاليس القول: "كل الأشياء مليئة بالآلهة". مرة أخرى سنجد مسألة العلة المادية لكل الأشياء،

وليس من الصعب أن نتصور أن طاليس قد اتخذ وجهة النظر هذه، أساسا، لاعتبارات تختص بالأرصاد الجوية. فالماء من بين كل الأشياء التي نعرفها هو الأكثر في تباين صُوَرِه. فهو قد يتخذ في الشتاء صورة الثلج أو الجليد، وقد يتبخر ويصبح بخارا، ويمكنه أن يشكل السحب، ويبدو أنه يتحول الى تراب حيثما يشكل النهر دلتاه، وهو قد يتفجر من الأرض. إن الماء شرط للحياة. فإذا كان ثمة جوهر أولي، فمن الطبيعي أن يتجه التفكير أولا إلى الماء.

ثم تطورت فكرة الجوهر الأولي على يدي أنكسيمندر، وكان تلميذ طاليس ويعيش في نفس المدينة. أنكر أنكسيمندر أن يكون الجوهر الأولي هو الماء أو أيا من الجواهر المعروفة. كانت تعاليمه تقول إن الجوهر الأولي لا محدود خالد سرمدي، وأنه يشمل العالم. يتحول هذا الجوهر الأولي إلى الجواهر الأخرى التي نعرفها. يورد ثيوفراستوس قول أنكسيمندر "إن الأشياء تضمحل مرة أخرى إلى الشكل الذي منه نشأت - هذا قَدَرُها - ذلك أنها تعوض وترضي بعضها بعضا تكفيرا عما ارتكبته من ظلم وفقا لتسلسل الزمن". في هذه الفلسفة سنجد أن نقيض الموجود والصيرورة يلعب الدور الرئيسي. يتحلل الجوهر الأولي اللامحدود السرمدي، هذا الموجود اللامتنوع، يتحلل إلى الأشكال العديدة التي تقود إلى صراعات لاتنتهي. إن عملية الصيرورة تعتبر نوعا من الانحطاط في قيمة الموجود اللامتناهي - تحللا إلى الصراع الذي يُكَفَّر عنه بالعودة إلى مالاشكل له ولاطبع. والصراع المَعْنِيُّ هنا هو التنازع بين الساخن والبارد، بين النار والماء، بين المبتل والجاف... إلخ. أما الانتصار المؤقت لأحدهما على الآخر فهو الظلم الذي بسببه يجرى الاصلاح في النهاية في تسلسل الزمن. ثمة "حركة أزلية" عند أنكسيمندر، خلق وفناء عوالم من اللامتناهي إلى اللامتناهي.

قد يكون من المثير أن نلحظ هنا أن المشكلة - مشكلة ما إذا كان الجوهر الأوليُّ هو أحد الجواهر المعروفة أم أنه لابد أن يكون شيئا مختلفا تماما - أن المشكلة تظهر في صورة مختلفة بعض الشيء في أحدث أفرع الفيزياء الذرية. يحاول الفيزيائيون اليوم أن يجدوا قانونا أساسيا لحركة المادة يمكن منه رياضيا أن تشتق كل الجسيمات الأولية وخصائصها. ولقد تشير هذه المعادلة الأساسية للحركة إما إلى موجات من نمط معروف، موجات بروتون وميزون، أو إلى موجات ذات طبيعة مختلفة تماما لا علاقة لها بأي من الموجات المعروفة أو الجسيمات الأولية. هي تعني في الحالة الأولى أنه من الممكن أن نَرُدَّ كل الجسيمات الأولية الأخرى بطريقة ما إلى ضروب معدودة من الجسيمات الأولية "الأساسية". والواقع أن الفيزياء

النظرية قد اتبعت هذا الخط البحثي خلال العقدين الأخيرين. أما في الحالة الثانية فتُردُّ فيها كل الجسيمات الأولية إلى مادة ماكونية قد نطلق عليها اسم الطاقة أو المادة، لكن ليس ثمة من الجسيمات المختلفة مايفضل غيره لأنه أكثر "أساسية". هذه الصورة الأخيرة تناظر بالطبع مذهب أنكسيمندر. وأنا مقتنع بأن هذه هي الصورة الصحيحة في الفيزياء الحديثة. لكن دعنا نرجع ثانية إلى الفلسفة الاغريقية.

أما ثالث الفلاسفة الملطيين فكان أنكسيمينز، زميل أنكسيمندر. وقد كان يرى أن الهواء هو الجوهر الأولي. "فكما تجمع الروح - وهي هواء - أجزاؤنا، كذا تطوق النسمات والهواء العالم بأكمله". أدخل أنكسيمينز إلى الفلسفة الملطية فكرة أن عملية التكثيف والخلخلة تسبب تحوُّلَ الجوهر الأولي إلى مواد أخرى. وكان تكثيف بخار الماء إلى سحب هو المثال الواضح، وطبيعي أن أحدا لم يكن يعرف الفرق بين بخار الماء والهواء في ذلك الوقت.

يشغل مفهوم الصيرورة المكان الأول في فلسفة هرقليطس، المنتمي إلى مدينة إفسوس. كان يرى أن مايتحرك، النار، هو العنصر الأساسي. ولقد حلّت مشكلة التوفيق بين فكرة مبدأ أساسي واحد وبين التشكيلة اللانهائية من الظواهر بإدراك أن صراع الأضداد إنما هو نوع من الانسجام. فالعالم عند هرقليطس واحد ومتعدد في آن. إن "التوتر المتعارض" للأضداد هو مايخلق وحدة الواحد. يقول: "علينا أن نعرف أن الحرب أمر شائع للجميع، وأن الصراع عدل، وأن كل شيء إنما يظهر في الوجود ويقضي، من خلال الصراع".

فإذا نظرنا إلى تطور الفلسفة الاغريقية حتى ذلك الوقت فسندرك أنها كانت منشغلة منذ بدايتها وحتى هذه المرحلة بالتوتر مابين الواحد والمتعدد. حواسنا تقول إن العالم يتكون من تنوع لانهائي من الأشياء والحوادث، من الألوان والأصوات. لكن علينا كي نتفهمها أن ندخل نوعا من النظام، والنظام يعني إدراك ماهو متساو، إنه يعني نوعا من الوحدة. من هذا ينبثق الاعتقاد بوجود جوهر أولي، ومن هنا في نفس الوقت تنبع صعوبة أن نشتق منه هذا النوع اللانهائي للأشياء. إن فكرة وجود علة مادية للأشياء جميعا هي نقطة بدء طبيعية، لأن العالم يتألف من مادة. لكنا إذا حملنا فكرة الوحدة الأساسية إلى مداها المتطرف فسنصل إلى ذلك الوجود اللانهائي الأزلي اللامتنوع، الذي لايمكنه في ذاته - سواء أكان ماديا أم لا - أن يفسر التنوع اللانهائي للأشياء. وهذا يقود إلى نقيض الموجود والصيرورة، ومن ثم إلى حل هرقليطس القائل إن التغير في ذاته هو الجوهر الأولي، أو كما قال عنه الشعراء "التغير

الخالد، الذى يجدد العالم". لكن التغير فى ذاته ليس علة مادية، وعلى هذا فإن النار تمثله فى فلسفة هرقليطس على أنه العنصر القاعدى، فالنار مادة وهى قوة محركة فى آن.

ولقد نقول فى هذا الموضوع إن الفيزياء الحديثة بشكل ما قريبة للغاية من مذاهب هرقليطس. فاذا استبدلنا بكلمة "النار" كلمة "الطاقة" فلربما كررنا بالضبط تعبيراته كلمة كلمة من وجهة نظرنا الحديثة. فالطاقة فى الواقع هى الجوهر الذى منه تصنع كل الجسيمات الأولية، كل الذرات، ومن ثم كل الأشياء، والطاقة هى مايتحرك. والطاقة جوهر لأن مقدارها لايتغير، ومن الممكن بالفعل أن تصنع الجسيمات الأولية من هذا الجوهر كما نرى فى الكثير من التجارب عن تخليق الجسيمات الأولية. من الممكن تحويل الطاقة إلى حركة، إلى ضوء، إلى توتر. يمكننا أن نسمى الطاقة باسم العلة الأولى لكل تغير فى العالم. لكنا سنعود فيما بعد إلى مقارنة الفلسفة الإغريقية بأفكار العلم الحديث.

عادت الفلسفة الاغريقية فترة إلى مفهوم "الواحد" فى تعاليم بارمنيدس، الذى عاش فى إيليا بجنوب ايطاليا. وربما كانت أهم إسهاماته فى التفكير الأغريقى هو أنه قدم حججا منطقية خالصة إلى الميتافيزيقا (مابعد الطبيعة). (إن المرء لايمكنه أن يعرف "غير الموجود"، هذا مستحيل، لا ولايمكنه أن يعبر عنه، ذلك أن مايمكن التفكير فيه هو مايمكن أن يوجد). وعلى هذا فلا يوجد غير "الواحد". وليس ثمة صيرورة أوزوال. أنكر بارمنيدس وجود المكان الفارغ لأسباب منطقية، ولما كان كل تغير يتطلب مكانا فارغا، كما افترض، فقد رفض التغير واعتبره وهما.

لكن الفلسفة لاتستطيع أن تستقر طويلا على هذه المفارقة. ولأول مرة تحول أنباد قليس - الذى عاش بالساحل الجنوبى لصقلية - من الواحدية إلى نوع من التعددية. فلكي يتجنب صعوبة أن يفسّر جوهرٌ أولىٌ واحد تعدد الأشياء والوقائع، افترض أربعة عناصر أولية: التراب والماء والهواء والنار. تمتزج هذه العناصر سويا وتنفصل بفعل المحبة والنزاع. وعلى هذا فالمحبة والنزاع، اللذان يمكن معالجتهما من وجهات مختلفة وكأنهما ماديان، تماما مثل العناصر الأربعة الأخرى، مسئولان عن التغير الخالد. وصف أنبادقليس تشكل العالم فى الصورة التالية: فى البدء كان ثمة عالم للواحد لامتناه - مثلما تقول فلسفة بارمنيدس. لكن، فى الجوهر الأولىّ مزجت "الجذور" الأربعة بالمحبة، فإذا ما بدأت المحبة تخبو ويدخل النزاع، أخذت العناصر تنفصل جزئيا وتتصل جزئيا. إلى أن تنفصل العناصر تماما وتصبح المحبة

خارج العالم. وأخيراً تجمّع المحبةُ العناصر مرة أخرى ويبدأ النزاع يخبو حتى نعود ثانية إلى العالم الأصلي.

يمثل مذهب أنبادقليس هذا تحولا واضحا في الفلسفة الاغريقية نحو نظرة أكثر مادية. فالعناصر الأربعة ليست مبادىء أولية بقدر ماهي عناصر مادية. هنا ولأول مرة يفسر تنوع لايحد من الأشياء والوقائع، يفسر بمزج وفصل بضعة جواهر مختلفة جذريا. إن التعددية لايستسيغها من تعود التفكير في المبادىء الأولية. لكنها شكل معقول لحل وسط يتجنب مشاكل الواحدية ويسمح ببناء نوع من النظام.

أما الخطوة التالية نحو مفهوم الذرة فقد اتخذها أناكساجوراس، وكان معاصرا لأمبادقليس، وقد عاش في أثينا نحو ثلاثين عاما، وربما كان ذلك في النصف الأول من القرن الخامس قبل الميلاد. أكد أناكساجوراس على فكرة المزج، على الفرض بأن كل التغير ينتج عن المزج والفصل. افترض متنوعا لا نهائيا من "بذور" غاية في الصغر، منها تتكون كل الأشياء. لم تكن البذور تشير إلى عناصر أمبادقليس الأربعة، فهناك عدد لايحصى من البذور المختلفة. لكن البذور تمزج سويا وتنفصل ثانية، وبهذا يحدث التغير. سمح مبدأ أناكساجوراس للمرة الأولى بتفهم هندسي للمصطلح "مزيج": فلما كان يتحدث عن بذور غاية في الضآلة، فمن الممكن أن نتصور مزيجها مثل مزيج بين نوعين من الرمل يختلفان في اللون. ولقد تختلف البذور في العدد أو في مواقعها النسبية. افترض أناكساجوراس أن كل البذور موجودة في كل شيء، ونِسَبُها فقط هي التي تختلف بين الأشياء المختلفة. يقول: "كل الأشياء توجد في كل شيء، لا وليس في إمكانها أن تفترق، لكن كل شيء به قدر من كل شيء". لايتحرك عالم أناكساجوراس مثل عالم أمبادقليس عن طريق المحبة والنزاع، وإنما عن طريق الـ "نوس" أو "العقل".

لم تكن بين هذه الفلسفة وبين مفهوم الذرة سوى خطوة واحدة، ولقد خطاها ليوقبص وديموقريطس الأبديري. تحول نقيض الموجود واللاموجود بفلسفة بارمنيدس إلى نقيض "الممتلىء" و "الفارغ". فالموجود ليس واحدا فقط، إذ من الممكن أن يُكَرَّرَ عددا لا نهائيا من المرات. إنه الذرة، أصغر وحدة لا تنقسم من المادة. الذرة أزلية لا تحطم، إنْ يكن حجمها محدودا. ولقد جُعلت الحركة ممكنة من خلال الفضاء الفارغ بين الذرات. وعلى هذا فقد ظهرت لأول مرة في التاريخ فكرة وجود أصغر الجسيمات الأولية ـ وحدات البناء الأصلية للمادة.

وتبعا لمفهوم الذرة هذا الجديد، لا تتكون المادة فقط من "الممتلىء" وإنما أيضا من "الفارغ"، من الفضاء الخالي الذى تتحرك فيه الذرات. أما الاعتراض المنطقي لبارمنيدس على "الفارغ" (فاللاموجود لايمكن أن يوجد) فقد أهمل استجابة الخبرة. يمكن القول من وجهة نظرنا المعاصرة إن الفضاء الخالي بين الذرات في فلسفة ديموقريطس لم يكن "لاشيء"، كان هو الحامل للهندسة والحركة، هو الذى يجعل ترتيبات الذرات وحركتها أمرا ممكنا. لكن إمكانية الفضاء الخالي كانت دائما مشكلة خلافية فى الفلسفة. كانت إجابة نظرية النسبية العامة هى أن الهندسة تنجم عن المادة، أو أن المادة تنتج عن الهندسة. وهذه الاجابة تناظر كثيرا تلك الفكرة التى يعتنقها الكثيرون من الفلاسفة بأن الفراغ يحدده امتداد المادة. لكن ديموقريطس قد انحرف عن هذه الفكرة ليجعل التغير والحركة ممكنين.

كانت كل ذرات ديموقريطس من نفس الجوهر، هى كلها تشترك فى خصيصة الوجود إنما فى أحجام وأشكال مختلفة، وعلى هذا فقد صورت على أنها قابلة للتقسيم بالمعنى الرياضى لا المادى. يمكن للذرات أن تتحرك، ويمكنها أن تشغل مواقع مختلفة فى الفراغ، لكن ليس لها خصائص مادية أخرى. ليس لها لون، ولا رائحة ولا طعم. أما مانشعربه من خصائص المادة بحواسنا فقد افتُرض أنها ناتجة عن حركات ومواقع الذرات في الفراغ. وكما يمكن أن نكتب التراجيديا والكوميديا بنفس الحروف الأبجدية، كذا فإن التنوع الهائل من الوقائع بهذا العالم يمكن أن يحقَّق بنفس الذرات من خلال تشكيلاتها وحركاتها المختلفة. لقد أثبتت الهندسة والحركة، الناجمان عن الفراغ، أن لهما بشكل ما أهمية أكبر من مجرد الموجود الخالص. يذكر عن ديموقريطس قوله: "للشيء لون نراه ليس إلاّ، له طعم حلو أو مُرّ ليس إلاّ. لكن ليس من وجود حقيقي لغير الذرات والفراغ".

والذرات فى فلسفة ليوقبص لا تتحرك بالصدفة وحدها. يبدو أن ليوقبص كان يعتقد فى الحتمية الكاملة، إذ يُعرف أنه قال: "إن العدم يحدث للاشيء، لكن كل شيء يحدث عن سبب وللضرورة". لم يعط الذريون أى علة لبداية حركة الذرات، الشيء الذى يوضح أنهم فكروا فى وصف عِلّيّ للحركة الذرية، ذلك أن العِلّيّة تفسر الوقائع التالية عن طريق الوقائع السابقة، لكنها أبدا لايمكن أن تفسر البدء.

استعار الفلاسفة الاغريق فيما بعد أفكار النظرية الذرية وحوروها جزئيا. من المهم هنا، ومن أجل المقارنة بالفيزياء الذرية، أن نذكر تفسير المادة عند أفلاطون فى حوار "تيماوس".

لم يكن أفلاطون يؤمن بالمذهب الذرى، على العكس، لقد ذكر ديوجينس ليرشيوس أن أفلاطون كان يكره ديموقريطس حتى ليتمنى أن تحرق كل كتبه. لكن أفلاطون جَمَّعَ أفكارا قريبة من المذهب الذرى مع مذاهب مدرسة فيثاغورث وتعاليم أنبادوقليس.

كانت المدرسة الفيثاغورثية فرعا من الأورفية التى ترجع إلى تقديس الإله ديونيسوس. هنا نشأ الربط بين الدين والرياضيات، الربط الذى كان له منذ ذلك التاريخ أقوى تأثير على الفكر الانسانى. يبدو أن الفيثاغورثيين كانوا أول من أدرك القوة الخلاقة المتأصلة فى الصياغة الرياضية. فاكتشافهم أن صوتا الوترين ينسجمان إذا كانت النسبة بين طوليهما نسبة بسيطة، هذا الاكتشاف يبين مدى ماتعنيه الرياضيات فى تفهم الظواهر الطبيعية. لم يكن الأمر بالنسبة للفيثاغورثيين مجرد قضية تفهُّم، كانت النسبة الرياضية البسيطة بين أطوال الأوتار هى التى تخلق الانسجام فى الصوت. كان أيضا ثمة تصوف فى عقائد المدرسة الفيثاغورثية يصعب علينا تفهمه. لكنهم عندما جعلوا الرياضيات جزءا من دينهم، فإنهم مَسُّوا نقطة محورية فى تطور الفكر البشرى. ولقد اقتبسُ جملة عن برتراند راسل كتبها عن فيثاغورث: "اننى لا أعرف رجلا آخر كان له مثل هذا الأثر فى مجال الفكر".

عَرِف أفلاطون باكتشاف الفيثاغورثيين للمجسمات المنتظمة، وبإمكانية ربطها بعناصر أمبادقليس. شبه أصغر الأجزاء من عنصر التراب بالمكعب، ومن عنصر الهواء بالمجسم الثمانى، ومن عنصر النار بالمجسم الرباعى، ومن عنصر الماء بالمجسم ذى العشرين وجه. لم يكن ثمة عنصر يناظر المجسم ذا الاثنى عشر سطحا. هنا لايقول أفلاطون سوى: "مازال هناك مركب خامس استعمله الإله فى تخطيط الكون".

فإذا كان من الممكن أصلا تشبيه الذرات بالمجسمات المنتظمة التى تمثل العناصر الأربعة، فلقد أوضح أفلاطون أن وجه الشبه هو عدم القابلية للانقسام. ركَّب أفلاطون المجسمات المنتظمة من مثلثين قاعديين هما المثلث المتساوى الأضلاع والمثلث المتساوى الساقين فمنهما تركب أسطح المجسمات. وعلى هذا فمن الممكن أن تحول العناصر إلى بعضها بضعا (على الأقل جزئيا). من الممكن أن تفكك المجسمات المنتظمة إلى مثلثات، وأن تشكل منها مجسمات منتظمة جديدة. وعلى سبيل المثال، من الممكن أن يفكك مجسم رباعى ومجسمان ثمانيان إلى عشرين مثلث متساوى الأوضاع، يمكن منها تشكيل مجسم ذى عشرين وجه. وهذا يعنى أن ذرة واحدة من النار وذرتين من الهواء يمكن أن تجمع وتعطى ذرة ماء واحدة. لكن المثلثات

الأولية لايمكن أن تعتبر مادة، فليس لها امتداد فى الفضاء، ولاتُخلق وحدة من المادة إلا إذا جُمّعت المثلثات لتشكل مجسما منتظما. إن أصغر أجزاء المادة ليست هى الموجودات الأولية كما تقول فلسفة ديموقريطس، إنما هى صور رياضية. هنا يتضح بجلاء أن الصورة أكثر أهمية من الجوهر التى هى صورة له.

بعد هذا الاستعراض السريع للفلسفة الاغريقية حتى تشكيل مفهوم الذرة، دعنا نرجع الآن إلى الفيزياء الحديثة لنبحث عن أوجه الشبه بينها وبين أفكارنا الحديثة عن الذرة ونظرية الكم. سنجد من الناحية التاريخية أن كلمة "ذرة" كانت تشير إلى الشيء الخطأ فى الفيزياء والكيمياء الحديثة، فى فترة إحياء العلوم بالقرن السابع عشر، ذاك لأن أصغر الجسيمات بالعنصر الكيماوى لايزال يمثل نظاما معقداً مكونا من وحدات أصغر. تسمى هذه الوحدات الأصغر فى أيامنا هذه باسم الجسيمات الأولية، والواضح أن مايمكن مقارنته فى الفيزياء الحديثة بذرات ديموقريطس هى الجسيمات الأولية مثل البروتون والنيوترون والإلكترون والميزون.

كان ديموقريطس على بينة بحقيقة أنه إذا ما كان من الممكن للذرات، بحركتها وترتيبها، أن تفسر خصائص المادة - اللون، الرائحة، الطعم - فليس لها أن تمتلك هى ذاتها هذه الخصائص. وعلى هذا فقد جرد الذرة من تلك الخصائص، ذرته إذن جزء من المادة مجرد. لكنه ترك للذرة خصيصة "الموجود"، خصيصة الامتداد فى الفراغ، خصيصة الشكل والحركة، إذ كان يصعب التحدث عن الذرة إذا ماجردت من مثل هذه الخصائص. لكن هذا يعنى من الناحية الأخرى أن مفهوم الذرة لايمكن أن يفسر الهندسة أو الامتداد فى الفضاء أو الموجود، لأنه لا يستطيع أن يختزلها إلى شيء أكثر جوهرية. والنظرة الحديثة بالنسبة لهذة القضية تبدو أكثر صلابة وراديكالية. دعنا نناقش السؤال: ماهو الجسيم الأولى؟ إننا نقول "نيوترون" مثلا. لكنا لانستطيع أن نعطى صورة واضحة التحديد ولا مانعنيه بهذه الكلمة. يمكننا أن نستخدم صورا متعددة، كأن نصفه مرة كجسيم ومرة كموجة ومرة كدفقة أمواج. لكنا نعرف أن ليس من هذه الأوصاف ما هو دقيق. المؤكد أن ليس للنيوترون لون ولا رائحة ولا طعم. وفى هذا الخصوص فإنه يشبه ذرة الفلسفة الاغريقية. لكنا نجرد الجسيم الأولى حتى من الخصائص الأخرى، على الأقل إلى حد ما، فمفهومى الهندسة والحركة، كالشكل والحركة فى الفضاء، لايمكن أن يطبقا عليه باستقامة. فإذا أردنا أن نعطى وصفا دقيقا للجسيم الأولى -

وهنا يكون التأكيد على كلمة "دقيق" - فإن كل مانستطيع أن نكتبه في وصفه هو دالة احتمال. لكنا سنرى هنا أنَّا لا نمنح مانصفه ولا حتى خصيصة "الموجود" (إذا اعتبرنا هذه "خصيصة"). إنها احتمال أن يوجد أو نزعة لأن يوجد. وعلى هذا فإن الجسيم الأولي للفيزيقا الحديثة لايزال أكثر تجريدا من ذرة الاغريق، وهو بهذه الخصيصة بالذات أكثر استقامة كمفتاح لتفسير سلوك المادة.

تتألف الذرات جميعا في فلسفة ديموقريطس من نفس الجوهر، إذا كان لنا هنا أن نستخدم كلمة "الجوهر" أصلا. والجسيم الأولي في الفيزياء الحديثة يحمل كتلة بنفس المعنى المحدود الذي يحمل به الصفات الأخرى. ولما كانت الكتلة والطاقة تبعا لنظرية النسبية هما في الأساس نفس المفهوم، فلنا أن نقول إن كل الجسيمات الأولية تتألف من الطاقة. يمكن أن نفهم هذا على أننا نُعَرِّف الطاقة بأنها الجوهر الأولي للعالم، فلها في الحق الخصيصة المميزة للمصطلح "جوهر" من حيث أنها تُحفَظ. لذلك فقد ذكرنا قبلا أن أفكار الفيزيقا الحديثة في هذا الخصوص قريبةٌ جدا من أفكار هرقليطس إذا أخذنا عنصر النار على أنه يعني الطاقة. الطاقة في الحق هي مايتحرك، ولقد نسميها العلة الأولى لكل تغير، والطاقة يمكن أن تتحول إلى مادة أو حرارة أو ضوء. والنزاع بين الأضداد في فلسفة هرقليطس يمكن أن نجده في النزاع بين صورتين مختلفتين من صور المادة.

والذرات في فلسفة ديموقريطس هي وحدات للمادة أزلية لا تحطم، ومن المستحيل أن تتحولْ إحداها إلى الأخرى. تتخذ الفيزياء الحديثة بالنسبة لهذه القضية موقفا واضحا ضد مادية ديمرقوريطس، وفي صَفّ أفلاطون والفيثاغورثيين. فالأجسام الأولية بالتأكيد ليست وحدات للمادة أزليةً لاتحطم، ومن الممكن فعلا تحويلها من صورة إلى الأخرى. والواقع أنه إذا تحرك جسيمان من هذه خلال الفضاء بطاقةٍ حركية عالية جدا، ثم اصطدما، فقد يخلق من الطاقة المتاحة الكثير من الجسيمات الأولية الجديدة بينما يختفي الجسيمان الأصليان في عملية الارتطام. ولقد لوحظت مثل هذه الوقائع كثيرا، وهي تقدم أكبر دليل على أن الجسيمات مصنوعة من نفس الجوهر: الطاقة. لكنا قد نأخذ تشابه الأفكار الحديثة مع أفكار أفلاطون والفيثاغورثيين إلى مدى أبعد بعض الشيء. فالجسيمات الأولية في "تيماوس" أفلاطون هي في النهاية ليست جوهرا، إنما هي صورة رياضية. "كل الأشياء أرقام". هذه جملة تنسب إلى فيثاغورث. ولقد كانت الصيغ الرياضية الوحيدة المتاحة في زمنه هي صيغَ هندسة المجسمات

المنتظمة والمثلثات التي تشكل أسطحها. ليس ثمة من شك في أن الجسيمات الأولية في نظرية الكم الحديثة ستصبح هي الأخرى في النهاية صيغا رياضية، إن تكن طبيعتها أكثر تعقيدا. فكّر الفلاسفة في صور ساكنة، ووجدوها في المجسمات المنتظمة. أما العلم الحديث فقد انطلق منذ بداياته في القرن السادس عشر والقرن السابع عشر،انطلق من المشكلة الديناميكية. لم يكن العنصر الثابت في الفيزياء، منذ عصر نيوتن صورةَ تَشكُّلٍ أو صيغةً رياضية، وإنما كان قانونا ديناميكيا. معادلة الحركة صحيحة في كل وقت، فهي بهذا المعنى أزلية، أما الصور الهندسية، كمثل المدارات، فهي متغيرة. وعلى هذا فإن الصيغ الرياضية التي تمثل الجسيمات الأولية ستكون هي حلول قانون ما أزليّ لحركة المادة. والواقع أن هذه المشكلة لم تجد الحل بعد. فالقانون الأساسي لحركة المادة لم يكتشف حتي الآن، وعلي هذا فليس من الممكن حتي الآن أن نستنبط رياضيا خصائص الجسيمات الأولية من مثل هذا القانون. لكن يبدو أن الفيزياء النظرية في وضعها الحالي ليست بعيدة عن هذا الهدف، ويمكننا علي الأقل أن نقول أي نوع من القوانين سنتوقع. وربما كانت المعادلة النهائية لحركة المادة معادلةً موجية مُكَمَّاة غير خطية لمجال عواملٍ مَوْجِيّ يمثل المادة، وليس أي نوع من الموجات أو الجسيمات. وقد تكافيء معادلة الموجة هذه مجاميعَ متعددةً من معادلات تكاملية لها "جذور كامنة" و "حلول كامنة" كما يقول الفيزيائيون. وستمثل الحلول الكامنة في نهاية الأمر الجسيمات الأولية، هي الصور الرياضية التي ستحل محل المجسمات المنتظمة عند الفيثاغورثيين. ولقد نذكر الآن أن "الحلول الكامنة" ستنتج عن المعادلة الأساسية للمادة بنفس العملية الرياضية التي تنتج بها الاهتزازات الهارمونية للوتر الفيثاغورثي عن المعادلة التفاضلية للوتر. لكن هذه المشاكل - كما قلنا - لم تحل بعد.

فإذا اتخذنا الخط الفيثاغورثي للتفكير فلقد نأمل أن يثبت في النهاية أن قانون الحركة الأساسي هو قانون رياضي بسيط، حتي لو كان تقييمه بالنسبة للحالات الكامنة في غاية التعقيد. يصعب أن نقدم حجة طيبة لأملنا هذا في البساطة، سوى حقيقة أننا استطعنا دائما أن نكتب المعادلات الأساسية للفيزياء في صيغ رياضية بسيطة. وهذه الحقيقة تتوافق مع دين الفيثاغورثيين، ويشاركهم الكثير من الفيزيائيين في هذا الشأن. لكن ليس ثمة حجة مقنعة حتي الآن تقول إن الأمر لابد أن يكون هكذا.

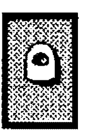
ربما أضفنا هنا حجة تتعلق بمسألة كثيراً مايثيرها غير المتخصصين، عن مفهوم الجسيم

الأولى فى الفيزياء الحديثة. لماذا يدّعى الفيزيائيون أن جسيماتهم الأولية لايمكن أن تنقسم إلى أجزاء أصغر؟ إن اجابة هذا السؤال توضح بجلاء قدر الزيادة فى التجريد بالعلم الحديث مقارنة بالفلسفة الإغريقية. تجرى الحجة كما يلى: كيف يمكن أن ينقسم الجسيم الأولى؟ مؤكدا سيحدث هذا باستخدام قوى شديدة وآلات حادة جدا. والالآت المتاحة لن تكون غير جسيمات أولية أخرى. وعلى هذا فإن التصادمات بين جسيمين أوليين لهما طاقة عالية جدا ستكون هى الوسيلة الوحيدة لتقسيم الجسيمات. والواقع أنه من الممكن أن تُقَسَّم بمثل هذه الوسائل، ويكون ذلك أحيانا إلى عدد كبير جدا من الشظايا. لكن الشظايا هذه هى مرة أخرى جسيمات أولية، وليست أجزاء صغيرة منها، وتنتج كتل هذه الشظايا عن الطاقة الحركية الضخمة للجسيمات المتصادمة. بمعنى آخر: إن تحول الطاقة إلى مادة يجعل من الممكن أن تكون شظايا الجسيمات الأولية مرة أخرى هى نفس الجسيمات الأولية.

بعد ماقدمناه من مقارنة بين الأفكار الحديثة فى الفيزياء الذرية والفلسفة الاغريقية، علينا أن نضيف تحذيرا بألا نسىء تفهم هذه المقارنة. قد يبدو من النظرة الأولى أن فلاسفة الاغريق قد توصلوا عن طريق نوع من الحدس العبقرى إلى نفس الاستنباطات - أو ماهو قريب جدا من الاستنباطات - التى لم نبلغها فى العصور الحديثة الا بعد قرون من العمل الشاق فى التجارب والرياضيات. إن تفسير المقارنة بهذا الشكل سيكون سوء تفهم خطيراً. ثمة فارق واسع بين العلم الحديث والفلسفة الاغريقية يكمن فى الموقف التجريبى للعلم الحديث. لقد ارتكز العلم منذ عصر جاليليو ونيوتن على الدراسة التفصيلية للطبيعة وعلى مسلمة أنَّا لايصح أن نتناول إلا التقارير التى حققتها التجربة أو التى يمكن على الأقل أن نتحقق منها بالتجربة. أما فكرة أن نختار بالتجربة وقائع بذاتها من الطبيعة من أجل دراسة التفاصيل والتوصل إلى القانون الثابت فى التغير المستمر، فهو أمر لم يخطر ببال الفلاسفة الإغريق. وعلى هذا فإن العلم الحديث ومنذ بدايته قد وقف - على عكس الفلسفة القديمة - على أرض أكثر تواضعا إن تكن أكثر صلابة. ومن ثم فإن ماتعنيه تقارير الفيزياء الحديثة لهو شىء أكثر جدية مقارنة بما تعنيه الفلسفة الاغريقية. فإذا قال أفلاطون مثلا إن أصغر جسيمات النار هى المجسمات إن الرباعية، فليس من السهل أن نفهم مايعنيه حقا. هل المجسم الرباعى يرتبط بعنصر النار من الناحية الرمزية فقط؟ أم أن أصغر جسيمات النار يعمل ميكانيكيا كمثل مجسمات رباعية صلبة أو مجسمات رباعية مرنة؟ وبأية قوة يمكن أن نفصلها إلى مثلثات متساوية الأضلاع... إلخ؟ فالعلم الحديث ينتهى دائما بالسؤال: كيف يستطيع المرء تجريبيا أن يقرر ما إذا كانت

ذرات النار مجسمات رباعية وليست مكعبات مثلا؟ وعلى هذا فإذا ماقرر العلم الحديث أن البروتون هو حل معين لمعادلة أساسية للمادة، فإنه يعنى أنه يستطيع من هذا الحل أن يستنبط رياضيا كل الخصائص الممكنة للبروتون، وأنه يستطيع أن يتفحص صحة الحل بالتجربة فى كل التفاصيل. وهذه الإمكانية لتفحص صحة التقرير تجريبيا، وبدرجة عالية من الدقة، ولأى عدد من التفاصيل، تعطى وزنا هائلا للتقرير لايمكن أن نعزوه لتقارير الفلسفة الإغريقية المبكرة.

على أية حال، إن بعض تقارير الفلسفة القديمة تقترب بعض الشىء من تقارير العلم الحديث. وهذا يوضح ببساطة المدى الذى يمكن أن نصل إليه بتجميع خبرتنا العادية بالطبيعة، والتى ندركها دون إجراء تجارب، مع المجهود المتواصل كى نُدخل نوعا من النظام المنطقى إلى الخبرة لنتفهمها من مبادىء عامة.



تطور الأفكار الفلسفية منذ ديكارت مقارنةً بالوضع الجديد فى نظرية الكم

فى الألفى سنة التى أعقبت أوج العلم والثقافة الإغريقية بالقرن الخامس والرابع قبل الميلاد، كان الذهن البشرى مشغولا لحد كبير بمشاكل ذات طبيعة تختلف عما كان بالمرحلة السابقة. ففى القرون الأولى للحضارة الاغريقية كان الواقع المباشر، الذى نحيا به ونحسه بحواسنا، هو أقوى الدوافع. كان الواقع يمتلىء بالحياة، ولم يكن ثمة من سبب وجيه لتأكيد التفرقة بين المادة والعقل، أو بين الجسم والروح. لكنا سنرى فى فلسفة أفلاطون أن ثمة دافعا آخر قد بدأ يبرز. ففى "الكهف" شبّه أفلاطون الرجالَ بسجناء فى كهف قُيّدوا بحيث لاينظرون إلا فى اتجاه واحد. خلفهم كانت نار، وعلى الحائط أمامهم كانوا يرون ظلالهم وظلال الأشياء من خلفهم. ولما كانوا لايرون سوى الظلال، فقد اعتبروا الظلال واقعا ولم يدركوا الأشياء نفسها. فى النهاية هرب واحد منهم وخرج من الكهف إلى ضوء الشمس. لأول مرة رأى الأشياء الحقيقية وأدرك أن الظلال قد خدعته. عرف الحقيقة لأول مرة ولم يعد يذكر حياته السابقة فى الظلام إلا فى أسى. السجين الذى هرب من الكهف إلى نور الحقيقة هو الفيلسوف الحقيقى. إنه يمتلك المعرفة الحقيقية. وهذا الارتباط المباشر بالحقيقة، أو بالإله (إذا استخدمنا المعنى المسيحى) هو الواقع الجديد الذى ابتدأت قوته تفوق واقع العالم الذى نحسه بحواسنا. يحدث الارتباط المباشر بالإله داخل الروح البشرية، لا فى العالم. ولقد كانت هذه هى المشكلة التى شغلت الفكر الانسانى أكثر من أى شىء آخر خلال الألفى سنة بعد أفلاطون. فى هذه الفترة اتجهت أعين الفلاسفة نحو روح الانسان وعلاقته بالإله، نحو مشاكل الأخلاقيات، نحو تفهم

الوحى، لا نحو العالم الخارجي. وكان علينا أن ننتظر حتى عصر النهضة الايطالى حتى يبدأ ثانيةً تغيرٌ تدريجى للذهن البشرى، ينتهى إلى إحياء الاهتمام بالطبيعة.

أما التطور الكبير فى العلوم الطبيعية بالقرن السادس عشر والسابع عشر، فقد سبقه وصحبه تطور فى الرؤى الفلسفية، تطور يرتبط برباط وثيق بالمفاهيم الأساسية فى العلم. وعلى هذا فقد يكون من المفيد أن نعلق على هذى الرؤى، من الموقع الذى بلغه العلم الحديث أخيرا فى زماننا.

كان أول كبار الفلاسفة فى هذه الحقبة الجديدة للعلم هو رينيه ديكارت، الذى عاش فى النصف الأول من القرن السابع عشر. وكتابه "المقال فى المنهج" يحمل أهم آرائه بالنسبة لتطور التفكير العلمى. حاول على أساس الشك والاستدلال المنطقى أن يجد أساسا جديدا تماما، أو - كما أعتقد - أساسا صلبا، لنسقٍ فلسفى. لم يقبل الوحى فى ذاته أساسا، لا ولم يرغب فى أن يقبل - دون تفحص - ماتستشعره الحواس. ابتدأ إذن بمنهج الشك. ألقى بشكوكه على ماتخبرنا به حواسنا عن نتائج استدلالاتنا، ليصل فى النهاية إلى جملته الشهيرة "أنا أفكر، إذن فأنا موجود". أنا لاأستطيع أن أشك فى وجودى لأن وجودى ناتج عن حقيقة أننى أفكر. وبعد توطيد وجود الأنا بهذه الطريقة مضى ليثبت وجود الإله متبعا خطوط الفلسفة المدرسية. أما وجود العالم فسيتأتى عن حقيقة أن الإله قد منحنى مَيْلاً قويا كى اعتقد بوجود العالم - ومن المستحيل بالطبع أن يكون الإله قد خدعنى.

يختلف أساس فلسفة ديكارت هذا اختلافا جذريا عن قرينه لدى الفلاسفة الإغريق. فنقطة البدء هنا ليست هى المبدأ أو الجوهر الأولى، وإنما هى مشروع معرفة أولية. ولقد أدرك ديكارت أن مانعرفه عن ذهننا أكثر يقينا مما نعرفه عن العالم الخارجى. غير أن الثالوث "الإله - العالم - الأنا"، وهو نقطة البداية عنده، قد بَسَّط بطريقةٍ خطرةٍ الأساسَ لمزيد من الاستدلال. فالقسمة بين المادة والذهن، أو بين الروح والجسد، (تلك التى بدأت فى فلسفة أفلاطون) قد غدت الآن تامة. لقد افترق الإله عن الأنا وعن العالم. لقد رُفع الإله فى الحقيقة إلى مرتبة أعلى بكثير فوق العالم وفوق الناس، حتى أنه لايظهر بفلسفة ديكارت فى النهاية إلا كنقطة احالة شائعة، توطد العلاقة بين الأنا والعالم.

وبينما حاولت فلسفة قدامى الاغريق أن تجد النظام فى التنوع اللانهائى للأشياء والوقائع، بالبحث عن مبدأ موحّد أولى، فقد حاول ديكارت أن يوطد النظام من خلال شكل من القسمة

الأولية. لكن الأجزاء الثلاثة التى تنشأ عن القسمة تفقد بعضا من جوهرها إذا ما أُخذ أى منها منفصلا عن الجزءين الآخرين. فإذا كان لنا أن نستعمل المفاهيم الأولية لديكارت، فسيلزم أن يكون الإله فى العالم، وفى الأنا، وسيلزم أيضا ألا تنفصل الأنا عن العالم. طبيعى أن ديكارت قد عرف ضرورة هذا الارتباط التى لاتقبل الجدل، لكن الفلسفة والعلوم الطبيعية فى الفترة اللاحقة قد تطورت على أساس التناقض بين "الشىء المفكر" و "الشىء الممتد". ركزت العلوم الطبيعية اهتمامها على "الشىء الممتد". ومن الصعب أن نقلل من أثر القسمة الديكارتية على الفكر الانسانى فى القرون التالية، لكن هذه القسمة بالذات هى ماسأقوم بنقدها فيما بعد، وذلك من تطور الفيزياء فى وقتنا هذا.

سيكون من الخطأ بالطبع أن نقول إن ديكارت، من خلال منهجه فى الفلسفة، قد فتح اتجاها جديدا فى الفكر الانسانى. إن مافعله حقا هو أنْ صاغ لأول مرة نزعة فى التفكير الانسانى يمكن بالفعل أن نشهدها فى حركة النهضة بإيطاليا وحركة الإصلاح الدينى. لقد كان ثمة عودة إلى الاهتمام بالرياضيات، الأمر الذى يشى بالأثر المتزايد للعوامل الأفلاطونية بالفلسفة والإلحاح على الدين الشخصى. دعم الاهتمامُ المتنامى بالرياضيات نظاماً فلسفياً بدأ بالاستدلال المنطقى وحاول بهذا المنهج أن يصل إلى بعض الحقيقة، بعضٍ به من اليقين مثل ما بنتيجة القياس الرياضى. أما الإلحاح على الدين الشخصى فقد فصل بين الأنا وعلاقتها بالإله، وبين العالم. وأما الاهتمام لتجميع المعرفة التجريبية مع الرياضيات ـ كما نلحظ فى أعمال جاليليو ـ فربما كان يرجع جزئيا إلى احتمال أن نصل بهذه الطريقة إلى بعض المعْرفة التى يمكن حفظها مستقلة تماما عن الجدل اللاهوتى الذى أثارته حركة الإصلاح الدينى. من الممكن أن تصاغ هذه المعرفة التجريبية دون أن نتحدث عن الإله أو عن أنفسنا. وهى تدعم فصل المفاهيم الثلاثة القاعدية "الاله ـ العالم ـ الأنا"، أو الفصل ما بين "الشىء المفكر" و "الشىء الممتد". فى تلك الحقبة كان ثمة فى بعض الحالات اتفاق صريح بين رواد العلم التجريبى على ألاّ يذكر فى مناقشاتهم اسمُ الاله أو العلةُ الأولى.

من ناحية أخرى، كان من اليسير أن نتنبأ من البداية بالصعوبات التى ستكتنف عملية القسمة. ففى التفرقة ما بين "الشىء المفكر" و "الشىء الممتد" مثلا، سنجد ديكارت وقد دُفع إلى أن يضع الحيوانات على جانب "الشىء الممتد" كليةً. وبناء على ذلك فإن الحيوانات والنباتات لا تختلف جذريا عن الماكينات، فسلوكها محكوم تماما بعلل مادية. ويبدو أنه من الصعب علينا

دائما أن ننكر وجود نوع من الروح في الحيوانات، كما يبدو أن المفهوم القديم للروح - في فلسفة توماس الأكويني مثلا - هو أمر أكثر طبيعية وأقل قسرا من مفهوم "الشيء المفكر" الديكارتي، حتى لو اقتنعنا بأن قوانين الفيزياء والكيمياء تسري بدقة على الكائنات الحية. من بين النتائج التي ظهرت متأخرة لهذه الفكرة الديكارتية أننا إذا اعتبرنا ببساطة أن الحيوانات ماكينات فسيصعب ألا نقول نفس الشيء عن البشر. من ناحية أخرى، لما كان "الشيء المفكر" و "الشيء الممتد" قد اعتُبرا شيئين مختلفين تماما في الجوهر، فإننا لن نتوقع أن يؤثر أيهما في الآخر. وعلى هذا فلكي نحفظ توازيا كاملا بين خبرة الذهن وخبرة الجسد، فلابد أن يكون النشاط الذهني أيضا محكوما تماما بقوانين تناظر قوانين الفيزياء والكيمياء. هنا تبزغ مسألة إمكانية "الإرادة الحرة". الواضح أن كل هذا الوصف وصف اصطناعي بشكل ما، ويبين القصور الخطير في عملية القسمة الديكارتية.

من الناحية الأخرى سنجد أن القسمة في العلوم الطبيعية كانت ولبضعة قرون ناجحة تماما. ابتدأت ميكانيكا نيوتن، وكل الفروع الأخرى من الفيزياء الكلاسيكية التي بنيت على نمطها، ابتدأت من افتراض يقول إننا نستطيع أن نصف العالم دون أن نتحدث عن الإله أو عن أنفسنا. ولقد بدا سريعا أن هذه الامكانية تكاد تكون شرطا ضروريا للعلوم الطبيعية بوجه عام.

لكن الوضع هنا قد تغير بعض الشيء بسبب نظرية الكم. وعلى هذا فقد يكون لنا الآن أن نقارن نسق ديكارت الفلسفي بالوضع الحالي في الفيزياء الحديثة. سبق أن أوضحنا أننا نستطيع أن نمضي في تفسير كوبنهاجن لنظرية الكم دون أن نذكر أنفسنا كأفراد، لكنا لا نستطيع أن نتجاهل حقيقة أن الانسان هو مَنْ شَكَّل العلوم الطبيعية. إن العلوم الطبيعية ليست مجرد وصف وتفسير للطبيعة، إنها جزء من التفاعل بين الطبيعة وبين أنفسنا، إنها تصف الطبيعة بعد أن نعرّضها لمنهجنا في الاستفهام. وهذه إمكانية لم يكن ديكارت ليفكر فيها، لكنها تجعل الفصل القاطع بين العالم والأنا مستحيلا.

فإذا تتبعنا الصعوبة البالغة التي واجهت حتى كبار العلماء من أمثال آينشتين في تفهم وقبول تفسير كوبنهاجن لنظرية الكم، فسنجد أن جذورها ترجع إلى عملية القسمة الديكارتية. لقد نفذت هذه القسمة بعمق داخل الذهن البشري عبر القرون الثلاثة التي انقضت بعد ديكارت، وسيتطلب الأمر زمانا طويلا حتى يمكن أن نستبدل بها موقفا مختلفا حقا نحو مشكلة الواقع.

أما الوضع الذى قادت اليه القسمة الديكارتية بالنسبة "للشىء الممتد"، فد كان هو ماقد نسميه الواقعية الميتافيزيقية. فالعالم - نعنى الأشياء الممتدة - "موجود". ويجب أن نفرق بين هذه وبين الواقعية العملية. من الممكن أن نصف الأشكال المختلفة من الواقعية كما يلى: إننا "نُمَوْضِع" أى تقرير إذا ادعينا أن محتواه لايتوقف على الظروف اللازمة لإثباته. تفترض الواقعية العملية أن هناك تقارير يمكن مَوْضَعتها، بل إن الجزء الأكبر من خبرتنا فى الحياة اليومية تتألف فى الواقع من مثل هذه التقارير. والواقعية الدوجماتية تدعى ألا وجود لتقارير تتعلق بالعالم المادى لايمكن مَوْضَعتها. كانت الواقعية العملية دائما وستظل دائما جزءا جوهريا من العلوم الطبيعية. لكن الواقعية الدوجماتية - كما نراها الآن - ليست شرطا ضروريا للعلوم الطبيعية. غير أنها قد لعبت دورا هاما فى تطور العلوم، بل الواقع ان الوضع فى الفيزياء الكلاسيكية هو وضع واقعية دوجماتية. وعن طريق نظرية الكم وحدها عرفنا أن العلم المضبوط ممكن دون أساس من الواقعية الدوجماتية. ولقد ارتكز نقد آينشتين لنظرية الكم على الواقعية الدوجماتية. وهذا موقف طبيعى للغاية. فكل عالم يقوم بالتجارب يشعر بأنه يبحث عن شىء له حقيقة موضوعية، وهو لايرغب أن تعتمد تقاريره على الظروف اللازمة لاثباتها. أما حقيقة أننا نستطيع أن نفسر الطبيعة - وبالذات فى الفيزياء - بقوانين رياضية بسيطة، فهى تخبرنا أننا نقابل هنا ملمحا حقيقيا من ملامح الواقع، لا شيئا بأنفسنا قد ابتكرناه - بكل ما لهذه الكلمة من معان. هذا هو الوضع الذى كان فى ذهن آينشتين عندما اتخذ الواقعية الدوجماتية أساسا للعلوم الطبيعية. لكن نظرية الكم ذاتها هى مثال لإمكانية تفسير الطبيعة عن طريق قوانين رياضية بسيطة دون هذا الأساس. قد لا تبدو هذه القوانين بسيطة اذا قورنت بميكانيكا نيوتن. فإذا ما نظرنا إلى التعقيد البالغ للظواهر التى علينا أن نفسرها (مثلا: الطيف الخطى للذرات المعقدة) فسنجد أن المخطط الرياضى لنظرية الكم بسيط نسبيا. الواقع أن العلم الطبيعى ممكن دون أساس من الواقعية الدوجماتية.

تمضى الواقعية الميتافيزيقية خطوة أبعد من الذاتية الدوجماتية، عندما تقول إن "الأشياء توجد حقا". وهذا فى الواقع هو ماحاول ديكارت أن يثبته بحجته أن "الإله لايمكن أن يكون قد خدعنا". إن القول إن الأشياء توجد حقا يختلف عما تقول به الواقعية الدوجماتية، لوجود كلمة "توجد" هنا، وهى المضمنة أيضا فى القول "أنا أفكر إذن فأنا موجود"، لكن يصعب أن نفهم

المقصود فى هذا الموضوع والذى لاتتضمنه بالفعل قضية الواقعية الدوجماتية. وهذا يقودنا إلى نقد عام للتعبير "أنا أفكر إذن فأنا موجود" الذى اعتبره ديكارت الأساس الصلب الذى يمكن أن يبنى عليه نظامه. والواقع بالفعل أن بهذا التعبير يقينا مثل يقين نتيجة القياس الرياضى إذا عرّفنا الكلمات "أنا أفكر" و "موجود" بالطريقة المعتادة، أو- بصورة أكثر حذرا، وأكثر انتقادا في الوقت نفسه- إذا عّرفناها بحيث يكون التعبير استطرادا لها. لكن هذا لايعرفنا بالمدى الذى يمكننا أن نستعمل فيه مفهومى "التفكير" و "الموجود" فى استكشاف طريقنا. إن السؤال عن المدى الذى يمكن فيه تطبيق مفاهيمنا هو دائما سؤال تجريبى على العموم.

ولقد شعر الفلاسفة بمشكلة الواقعية الميتافيزيقية بعد ديكارت بوقت قصير، وأصبحت هى نقطة البدء بالنسبة للفلسفة التجريبية، للمذهب الحسى والمذهب الوضعى.

ثمة فلاسفة ثلاثة يمكن اعتبارهم ممثلين للفلسفة التجريبية المبكرة هم: لوك وباركلى وهيوم. كان هيوم يعتقد- على عكس ديكارت- أن أصل المعرفة كلها، فى نهاية المطاف، هو الخبرة. قد تكون هذه الخبرة إحساسا أو إدراكا حسيا بعمل عقولنا. يقول لوك إن المعرفة هى الاحساس باتفاق فكرتين أو عدم اتفاقهما. تَكَفَّل باركلى بالخطوة التالية. فإذا كانت كل معرفتنا مشتقة فعلا من الإدراك الحسى، فليس ثمة معنى لقولنا "إن الأشياء توجد حقا". ذلك أننا إذا افترضنا الإدراكَ الحسى فلن يهم فعلا إن كانت الأشياء موجودة أو غير موجودة. وعلى هذا فقولنا إن الشيء محسوس يطابق قولنا إنه موجود. ولقد مد هيوم هذا الخط من الجدل إلى مذهبٍ للتشككية متطرفٍ أنكر الاستقراء والسببية، ومن ثم توصل إلى نتيجة تُحَطِّم، إذا أخذناها على نحو جاد، أساسَ كل العلوم التجريبية.

ونقد الواقعية الميتافيزيقية الذى عبرت عنه الفلسفة التجريبية هو نقد له بالتأكيد مايبرره إذا أُخذ كتحذير ضد الاستخدام الساذج لمصطلح "وجود". ومن الممكن أن نوجه النقد بنفس الطريقة للتعبيرات الوضعية لهذه الفلسفة. فحواسنا ليست مجرد حزم من الألوان أو الأصوات، إن مانحسه، نحسه كشيء ما - والتركيز هنا على كلمة "شيء"، وعلى هذا فلنا أن نشك فيما إذا كان ثمة ماسنكسبه إذا نحن وضعنا إحساساتنا، بديلا عن الأشياء، كعناصر الواقع الأولية.

أما المشكلة الأساسية فقد أقرت بها الوضعية الحديثة فى وضوح. يعبر هذا الخط من التفكير عن انتقاد للاستخدام الساذج لمصطلحات معينة مثل "الشيء" و "الادراك الحسي" و "الوجود"، وذلك بالمُسلَّمة العامة بأن مسألةً ما إذا كان لجملةٍ ما أيُّ معنى على الاطلاق، هى أمر لابد أن يخضع لفحص دقيق نقدى. فالمُسلَّمة ـ والموقف من خلفها ـ مشتقان من المنطق الرياضى. ويُصَوِّر منهج العلوم الطبيعية كوصلة من الرموز ملحقة بالظواهر. من الممكن أن تجمع الرموز ـ كما فى الرياضيات ـ حسب قوانين معينة، وبهذه الطريقة يمكن أن تُمَثِّل التقارير عن الظواهر بمجاميع من الرموز. فإذا ماكان ثمة مجموعة من الرموز لاتطيع القوانين، فهى ليست خاطئة، إنما هى فقط لا تنقل أى معنى.

والمشكلة الواضحة فى هذه الحجة هى افتقارنا إلى أى معيار نحكم به عما إذا كانت الجملة بلا معنى. فنحن لن نصل إلى حكم حاسم إلا إذا كانت الجملة تنتمى إلى نظام مغلق من المفاهيم والبديهيات، وهذا أمر يعتبر فى تطور العلوم الطبيعية الاستثناءَ لا القاعدة. يقول التاريخ إن التخمين بأن جملة معينة لا معنى لها قد قاد فى بعض الحالات إلى تقدم كبير، إذ فتح الباب لتوطيد علاقات جديدة كانت مستحيلة لو كان للجملة معنى. ولقد ناقشنا فى نظرية الكم مثالا هو الجملة: "فى أى مدار يتحرك الإلكترون حول النواة؟". لكن المخطط الوضعى المستمد من المنطق الرياضى هو على العموم نطاق ضيق للغاية فى وصف الطبيعة يَستخدم بالضرورة كلماتٍ ومفاهيمَ يصعب تعريفها إلا فى صورة مبهمة.

ولقد قادت القضية الفلسفية القائلة إن كل المعرفة تتركز فى نهاية المطاف فى الخبرة، قادت إلى مسلمة تتعلق بالتفسير المنطقى لأى تقرير عن الطبيعة. ربما كان هناك مايبرر مثل هذه المسلمة فى مرحلة الفيزياء الكلاسيكية، لكنا قد عرفنا منذ ظهرت نظرية الكم أنها لايمكن أن تحقق. إن "موقع" و "سرعة" الإلكترون كلمتان يبدو أنهما محددتان من ناحية المعنى والارتباطات المحتملة، والحق أنهما كانتا مفهومين واضحىْ التحديد داخل الإطار الرياضى لميكانيكا نيوتن. لكن الواقع أنهما ليستا كذلك، تخبرنا بذلك العلاقات اللاتحققية. فلقد نقول إن "الموقع" فى ميكانيكا نيوتن كان محددا تماما، لكن العلاقة بالطبيعة لم تكن كذلك. وهذا يبين أننا أبدا لن نستطيع أن نعرف مقدما أية قيود قد تكتنف قابلية تطبيق مفاهيم معينة عندما نمد موقفنا إلى مناطق من الطبيعة بعيدة لايمكننا اختراقها إلا باستخدام أعقد الأدوات. علينا إذن فى عملية الاختراق أن نستخدم مفاهيمنا أحيانا بطريقة لاتُبَرَّر ولا تحمل أى معنى. والاصرار

على مسلمة التفسير المنطقى الكامل سيجعل العلم مستحيلا. وسيذكّرنا علم الفيزياء الحديث هنا بالحكمة القديمة القائلة: على كل من يريد ألاَّ يتفوه بخطأ أن يصمت.

ثمة تركيبة تجمع ما بين خطى الفكر هذين، اللذين بدأ من ديكارت من ناحية ولوك وباركلى من أخرى، تركيبة شرع فيها كانط فى فلسفته (وكان هو مؤسس المثالية الألمانية). أما الجزء من عمله الذى يهم فى المقارنة بنتائج الفيزياء الحديثة فنسجده فى كتابه "نقد العقل الخالص". تبنَّى معالجة قضية ما إذا كانت المعرفة تؤسَّس على الخبرة وحدها أم أنها قد تأتى عن مصادر أخرى، وتوصل إلى نتيجة مؤداها أن معرفتنا هى جزئيا معرفة "قَبْلية" لا يُستدل عليها بالاستقراء من الخبرة. وعلى هذا فقد ميز مابين المعرفة "التجريبية" والمعرفة "القَبْلية". فى نفس الوقت ميز أيضا مابين القضايا "التحليلية" والقضايا "التركيبية". فالقضايا التحليلية تنتج ببساطة عن المنطق، وانكارها يؤدى إلى التناقض الذاتى. أما القضايا التى ليست "تحليلية" فهى قضايا "تركيبية".

ماهو معيار المعرفة "القَبْلية" عند كانط؟ يوافق كانط على أن المعرفة كلها تبدأ من الخبرة، لكنه أضاف أنها لا تُشتق دائما من الخبرة، لكنها لاتخبرنا أنها لايمكن أن تكون مختلفة. وعلى هذا فإذا مافكرنا فى قضية مع ضرورتها، فلابد أن تكون "قبلية". والخبرة أبدا لا تمنح أحكامها عمومية كاملة. وعلى سبيل المثال فالجملة "الشمس تشرق كل صباح" تعنى أننا لا نعرف أىَّ استثناء لهذه القاعدة حدث فى الماضى، وأننا نتوقع أن تسرى الجملة أيضا فى المستقبل. لكنا نستطيع أن نتخيل استثناءات للقاعدة. فإذا ما وضعنا حكما ذا عمومية كاملة، أىْ إذا كان من المستحيل أن نتصور أى استثناء، فلابد أن يكون هذا الحكم "قَبْلى". الحكم التحليلى دائما حكم "قبلى". فحتى إذا ماتعلم الطفل الحساب عن طريق لعب "البلى"، فإن الأمر لايتطلب منه أن يعود إلى خبرته كى يعرف أن "٢ + ٢ = ٤". لكن المعرفة التجريبية معرفة تركيبية.

لكن، هل من الممكن أن تكون الأحكام التركيبية قبلية؟ حاول كانط أن يثبت هذا بأن أعطى أمثلة تبدو فيها المعايير السابقة وقد تحققت. يقول إن الزمان والمكان صورتان قبليتان للحدس الخالص. ثم قدم عن المكان الحجج الميتافيزيقية التالية:

١) المكان ليس مفهوما تجريبيا جُرِّد من تجارب أخرى، لأن المكان افتراض مسبق عندما نحيل الاحساسات إلى شىء خارجى، والخبرة الخارجية ممكنه فقط من خلال معنى المكان.

٢) المكان معنى بسيط قبلي ضرورى يشكل الأساس لكل الاحساسات الخارجية، ذلك أننا لانستطيع أن نتخيل عدم وجود المكان، وان كنا نستطيع أن نتخيل المكان فارغا لاشيء فيه.

٣) المكان ليس مفهوما انتقاليا أو شاملا لعلاقات الأشياء عموما، لأن هناك مكانا واحدا فقط، وما نسميه "أماكن" ليس سوى أجزاء منه لا شواهد.

٤) يُعرض المكان كمقدار مفترض لامتناه يحمل بداخله أجزاء المكان كلها، وهذه العلاقة تختلف عن علاقة المفهوم بشواهده، وعلى هذا فالمكان ليس مفهوما وانما هوصورة من صور الحدس.

لن نناقش هذه الحجج هنا، إنما نذكرها كأمثلة للنموذج العام للأدلة التى كان كانط يراها بالنسبة للأحكام القبلية التركيبية.

أما بالنسبة للفيزياء فقد أخذ كانط قانون العلية ومفهوم الجوهر - مثلما أخذ الزمان والمكان - على أنهما قَبْليان. ولقد حاول في مرحلة متأخرة من عمله أن يضم أيضا قانون حفظ المادة و "الفعل ورد الفعل" بل وحتى قانون الجاذبية. وليس من فيزيائى سيرغب فى اتباع كانط هنا إذا ماكان للمصطلح "قَبْلى" أن يستخدم بالمعنى المطلق الذى منحه إياه كانط. وفى الرياضيات اعتبر كانط الهندسة الإقليدية "قَبْلِيَّة".

وقبل أن نقارن مذاهب كانط هذه بنتائج الفيزياء الحديثة علينا أن نذكر جزءا آخر من عمله سنرجع إليه فيما بعد. فالسؤال الكريه عما إذا كانت "الأشياء توجد حقا" والذى أدى إلى الفلسفة التجريبية، هذا السؤال قد ظهر أيضا في نسق كانط. لكن كانط لم يتبع خط باركلى وهيوم، وهو أمر لو حدث لكان مستقيما. لقد احتفظ بفكرة "الشيء فى ذاته" منفصلة عن المدرك الحسي، وحفظ بهذه الطريقة نوعا من الارتباط مع الواقعية.

نصل الآن إلى مقارنة مذاهب كانط بالفيزياء الحديثة. من اللحظة الأولى سيبدو مفهومه المحورى عن "الأحكام التركيبية القَبْلية" وقد محقته تماما اكتشافات هذا القرن. غيرت نظرية النسبية رؤيتنا للمكان والزمان، بل لقد كشفت في الحقيقة ملامح جديدة للزمان والمكان، ليس بينها مانراه فى صور كانط القبلية للحدس الخالص. لم يعد قانون العلية يطبق فى نظرية الكم ولم يعد قانون حفظ المادة صحيحا بالنسبة للجسيمات الأولية. الواضح أن كانط لم يكن له

ليتنبأ بالاكتشافات الحديثة. لكن، لما كانت مقتنعا بأن مفهوماته ستكون "الأساس لأى ميتافيزيقا مستقبلية يمكن أن تسمى علما"، فمن المشوق أن نرى أين كانت حججه خاطئة.

دعنا نأخذ قانون العلية كمثال. يقول كانط إنه حيثما نلاحظ واقعة فإننا نفترض أن ثمة واقعة سبقتها لابد للأخرى أن تنتج عنها حسب قاعدة ما. وهذا كما يقرر كانط أساس كل العمل العملى. أما امكانية أن نجد دائما هذه الواقعة السابقة من عدمه فهو أمر لايهم بالنسبة لهذه المناقشة. والواقع أننا نستطيع أن نجدها فى الكثير من الحالات. لكن، حتى لو لم نستطع، فليس ثمة مايمنعنا من أن نسأل عما قد تكونه، وأن نبحث عنها. وعلى هذا فقد طُوِّع قانون العلية إلى منهج البحث العلمى. إنه الشرط الذى يجعل العلم ممكنا. ولما كنا نطبق هذا المنهج بالفعل فإن قانون العلية "قبلى" ولا يشتق من الخبرة.

فهل هذا صحيح فى الفيزياء الذرية؟ فلنأخذ ذرة راديوم يمكنها أن تطلق جسيم ألفا. لايمكن أن نتنبأ بالوقت الذى سيُطلق فيه جسيم ألفا. كل مايمكننا أن نقوله هو أن هذا الجسيم سيُطلق فى المتوسط فى نحو ألفى عام. وعلى هذا فعندما نلاحظ الانطلاق فلن نبحث عمليا عن واقعة سابقة يتبعها انبعاث الجسيم حسب قاعدة ما. من الممكن منطقيا أن نبحث عن مثل هذه الواقعة، ولايلزم أن تثبطنا حقيقة أن أحداً لم يلحظ حتى الآن مثل هذه الواقعة. لكن لماذا تغير المنهج العلمى بالفعل فى هذه القضية الجوهرية بالذات، منذ كانط؟

ثمة إجابتان محتملتان لهذا السؤال. الأولى منهما هى: لقد أقنعتنا الخبرة أن قوانين نظرية الكم صحيحة، فإذا كانت كذلك، فإنا نعرف أننا لن نجد واقعة سابقة تعلل انبعاث الجسيم فى وقت معين. أما الاجابة الثانية فهى: إننا نعرف الواقعة السابقة، لكن ليس بشكل دقيق تماما. إننا نعرف القوى فى النواة الذرية، المسئولة عن إطلاق جسيمات ألفا. لكن هذه المعرفة تحمل اللامحققية الناجمة عن التفاعل بين النواة وبين بقية العالم. فإذا أردنا أن نعرف السبب فى إطلاق جسيم ألفا فى ذلك الوقت المعين فمن الضرورى أن نعرف التركيب الميكروسكوبى للعالم بأكمله بما فيه أنفسنا، وهذا أمر مستحيل. ولهذا فلم تعد حجج كانط للصفة القبلية لقانون العلِّية، قابلةً للتطبيق هنا.

من الممكن أن نقدم مناقشة مشابهة عن الصفة القبلية للزمان والمكان كصورتين من صور الحدس. وسنصل إلى النتيجة نفسها. إن المفاهيم القَبْلية التى اعتبرها كانط حقيقة لاتقبل الجدل لم تعد مُضَمَّنَة فى النسق العلمى للفيزيقا الحديثة.

لكنها لاتزال تشكل قسما جوهريا من هذا النسق، إنما بمعنى يختلف بعض الشيء. عند مناقشة تفسير كوبنهاجن لنظرية الكم أكدنا أنّا نستعمل المفاهيم الكلاسيكية في وصف أجهزتها التجريبية، وبشكل عام في وصف ذلك الجزء من العالم الذي لاينتمي إلى موضوع التجربة. والواقع أن استخدام هذه المفاهيم - ومنها المكان والزمان والعلّية - هو الشرط لملاحظة الوقائع الذرية، وهو - بهذا المعنى - قبْلى. أما مالم يستطع كانط أن يتنبأ به فهو أن هذه المفاهيم القبلية قد تكون هي الشروط اللازمة للعلم، وأن مجال تطبيقاتها قد يكون محدودا في نفس الوقت. فعندما نقوم بتجربة فإن علينا أن نفترض تسلسلا علّيا من الوقائع يقود من الواقعة الذرية، عبر الجهاز، حتى عين المراقب. فإذا لم نفترض هذا التسلسل العلّي فلن نعرف شيئا عن الواقعة الذرية. لكن يلزم أيضا أن نتذكر أن للفيزياء الكلاسيكية وللعلّية مدى محدودا من التطبيق. لقد كانت المفارقة الجوهرية في نظرية الكم هي مالم يستطع كانط أن يتنبأ به. لقد غيرت الفيزياء الحديثة تعبير كانط عن احتمال الأحكام التركيبية القبْلية، من احتمالٍ ميتافيزيقى إلى احتمالٍ عملي. سيكون للأحكام التركيبية القبلية بذلك خصيصةُ حقيقةٍ نسبية.

فإذا أعدنا تفسير "قبلية" كانط بهذه الطريقة فليس ثمة من سبب يدعونا لاعتبار أن الخصائص هي المعطيات، لا الأشياء. إننا نستطيع - تماما كما في الفيزياء الكلاسيكية - أن نتحدث عن الوقائع التي لا نلحظها بنفس الطريقة التي نتحدث بها عما نعرفه من وقائع. وعلى هذا فإن الواقعية العملية هي جزء طبيعي من إعادة التفسير. أما بالنسبة لمفهوم "الشيء في ذاته" الكانطي، فلقد أشار كانط أننا لا نستطيع أن نستنبط شيئا من الإدراك الحسي "بالشيء في ذاته". وسنجد لهذه الجملة (كما لاحظ فايتسيكر) مثيلَها الصوري في حقيقة أنه برغم استخدامنا المفاهيم الكلاسيكية في كل التجارب فإن السلوك غير الكلاسيكي للمواضيع الذرية أمر ممكن. إن مفهوم "الشيء في ذاته" عند الفيزيائي الذري - إذا ما استخدمه أصلا - هو بنية رياضية في نهاية المطاف. لكن هذه البنية تُستَنْبَط - على عكس كانط - على نحو غير مباشر من الخبرة.

وفي إعادة التفسير هذه، ترتبط "القبلية" الكانطية على نحو مباشر بالخبرة - إلى المدى الذي تشكلت فيه خلال التطور الذهني البشري في الماضي البعيد جدا. اتبع البيولوجي لورنتس هذه الحجة ذات مرة عندما قارن المفاهيم القبلية بصور السلوك الحيواني التي يطلق

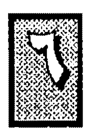
عليها اسم "الأنماط الوراثية أو الفطرية". والواقع أنه من المقبول حقا أن يختلف المكان والزمان بالنسبة لبعض الحيوانات البدائية عما أسماه كانط "حدسنا الخالص" للمكان والزمان. فهذا الأخير ينتمي لجنس البشر، لا إلى العالم مستقلا عن الانسان. لكنا ندخل أكثر مما ينبغي إلى مناقشات افتراضية إذا نحن اتبعنا هذه الملاحظة البيولوجية عن "القبلية". لقد ذكرناها هنا كمثال ليس إلا، لما يُمكن أن تُفَسر به "الحقيقة النسبية" في سياق "القبلية" الكانطية.

لقد استعملنا الفيزيقا الحديثة هنا كمثال، أو، إن أردت، كنموذج للتحقق من نتائج بعض النظم الفلسفية القديمة الهامة، والتي قُصِد بها بالطبع أن تسري على مجال أوسع. وربما أمكننا أن نعرض فيما يلي أهم ماتعلمناه من فلسفة ديكارت وكانط بصفة خاصة:

ليس ثمة معنى قاطع واضح لأي من المفاهيم والكلمات التي تشكلت في الماضي من خلال التفاعل بين العالم وأنفسنا، نعني أننا لا نعرف بالضبط إلى أي مدى قد تساعدنا فيه في معرفة طريقنا في العالم. كثيرا ما ندرك أننا نستطيع أن نستخدمها في مجال واسع من مجالات الخبرة الداخلية والخارجية، لكنا عمليا لا نعرف أبدا حدود تطبيقاتها بالضبط. وهذا صحيح حتى بالنسبة لأبسط وأهم المفاهيم مثل "الوجود" و "المكان والزمان". وعلى هذا لن يمكننا أبدا عن طريق العقل الخالص أن نصل إلى بعض الحقيقة المطلقة.

ولقد تكون المفاهيم محددة تماما بالنسبة لعلاقتنا، وهذا صحيح فعلا عندما تصبح المفاهيم جزءا من نظام البديهيات والتعريفات يمكن التعبير عنه بمخطط رياضي. ومثل هذه المجموعة من المفاهيم المرتبطة قد تكون قابلة للتطبيق على مجال واسع من الخبرة، وقد تساعدنا في أن نعرف طريقنا داخل هذا المجال. لكن حدود التطبيق ستظل عموما غير معروفة، أو على الأقل غير كاملة.

وحتى لو أدركنا أن معنى المفهوم لايمكن أبدا أن يحدَّد بدقة كاملة، فإن بعض المفاهيم تشكل جزءا متمما للمناهج العلمية، لأنها تمثل في الوقت الحالي المحصلة النهائية لتطور الفكر الانساني في الماضي، أو حتى في الماضي البعيد. وهي قد تورث، وهي على أية حال أدوات لاغنى عنها لإجراء البحث العلمي في زماننا. وبهذا المعنى فهي "قَبْلِيَّة" من الناحية العملية. لكنا قد نجد في المستقبل حدودا أبعد لقابليتها للتطبيق.



علاقة نظرية الكم
بغيرها من فروع العلوم الطبيعية

سبق أن ذكرنا أن مفاهيم العلوم الطبيعية يمكن أن تعرَّف بدقة بالنسبة للعلاقات فيما بينها. اتضحت هذه الامكانية لأول مرة في كتاب "المبادىء" لنيوتن، وبسببها بالتحديد كان لعمل نيوتن هذا، تلك الآثار الهائلة على كل تطور العلوم الطبيعية فى القرون التالية. ابتدأ نيوتن كتابه بمجموعة من التعريفات والبديهيات متشابكة بطريقة تُشكل معها مايمكن أن نسميه "النظام المغلق". من الممكن أن يُمَثَّل كل مفهوم برمز رياضى، لتُمثَّل العلاقات بين المفاهيم المختلفة بمعادلات رياضية تستخدم فيها هذه الرموز. وتتكفل الصورة الرياضية للنظام بعدم حدوث تناقضات به. بهذه الوسيلة تُمَثَّل الحركات المختلفة للأجسام تحت تأثير القوى الفعالة، بالحلول الممكنه لهذه المعادلات. يؤخذ نظام التعريفات والبديهات الذى يمكن أن يكتب فى صورة مجموعة من المعادلات الرياضية، يؤخذ على أنه وصف لبنية أزلية للطبيعة، لايتوقف على مكان معين أو زمن بذاته.

والارتباط بين المفاهيم المختلفة بالنظام شديد للغاية، حتى ليستحيل عموما أن نغير أيًّا منها دون أن نفسد النظام باكمله.

لهذا السبب اعتُبر نظام نيوتن، ولفترة طويلة، نظاما نهائيا. وأصبحت مهمة العلماء فى الفترة التالية هى مجرد توسيع نطاق ميكانيكا نيوتن إلى مجالات من الخبرة أوسع. والواقع أن علم الفيزياء قد تطور بهذه الطريقة لفترة تبلغ نحو قرنين.

يستطيع المرء أن يتحول من نظرية الكتلة إلى ميكانيكا الأجسام الجامدة، إلى الحركة الدوارة، ويمكنه أن يعالج الحركات المتصلة لسائل أو الحركات المتذبذبة لجسم مرن. كل هذه الأجزاء من الميكانيكا أو الديناميكا قد تطورت بالتدريج في علاقة وثيقة مع تطور الرياضيات، لاسيما حساب التفاضل، ثم ان النتائج قد اختبرت بالتجارب. أصبحت الصوتيات وديناميكا السوائل جزءا من الميكانيكا. ثمة علم آخر، هو علم الفلك، كان لتطبيق ميكانيكا نيوتن به شأن واضح. لقد أدت التحسينات التي أدخلت على المناهج الرياضية، بالتدريج، إلى تقديرات أدق وأدق لحركات الكواكب وتأثيراتها المتبادلة. وعندما اكتُشِفت ظاهرتا الكهرباء والمغنطيسية، قورنت القوي الكهربية والمغنطيسية بقوى الجاذبية، ثم درست آثارهما على حركة الأجسام على هُدى ميكانيكا نيوتن. وأخيرا، وفي القرن التاسع عشر، أمكن اخضاع حتى نظرية الحرارة إلى الميكانيكا، عندما افتُرِض أن الحرارة في الواقع تتكون من حركات احصائية معقدة لأصغر أجزاء المادة. وبتجميع مفاهيم النظرية الرياضية للاحتمالات مع مفاهيم ميكانيكا نيوتن، تمكن كلوسيوس وجيبس وبولتسمان من أن يوضحوا أن القوانين الأساسية لنظرية الحرارة يمكن أن تُفَسَّر كقوانين احصائية تنتج عن ميكانيكا نيوتن عند تطبيقها على نظم ميكانيكية غاية في التعقيد.

أنجز البرنامج الذى أقامته ميكانيكا نيوتن، وحتى هذه المرحلة، نجاحات صلبة، وقاد إلى تفهم مدى واسع من الخبرات. ظهرت أولى الصعوبات في مناقشات المجال الكهرومغنطيسي بأبحاث فاراداي وماكسويل. فقوى الجاذبية في ميكانيكا نيوتن تعتبر من المعطيات، وليست موضوعا يخضع لدراسات نظرية تُجرى. لكن مجال القوة نفسه أصبح في أبحاث فاراداي وماكسويل موضوعَ الاستقصاء. أراد الفيزيائيان أن يعرفا كيف يتباين مجال القوة هذا كدالة للمكان والزمن. وبذا حاولا أن يضعا معادلاتٍ لحركة المجالات، ليست أساسا للأجسام التي تعمل عليها المجالات. ولقد عاد بهما هذا التغيير إلى وجهة نظر اعتنقها العديد من العلماء قبل نيوتن، تقول إن الفعل - علي مابدا لهم - يمكن أن ينتقل من جسم إلى آخر، فقط إذا تلامس الجسمان - بالاصطدام مثلا أو بالاحتكاك. قدم نيوتن فرضا جديدا جدا وغريبا عندما افترض قوةً تعمل عبر مسافة طويلة. عدنا الآن في نظرية مجالات القوى إلى الفكرة القديمة - القائلة إن الفعل ينتقل من نقطة إلى أخرى مجاورة - وذلك فقط بوصف سلوك المجال في صورة معادلات تفاضلية. ولقد ثبت أن هذا بالفعل ممكن، ومن ثم فقد بدا الوصف الذى قدمته معادلات ماكسويل للمجالات الكهرومغنطيسية، بدا حلا مرضيا لمشكلة القوة. لقد غيرنا بالفعل

برنامج ميكانيكا نيوتن. فالبديهات والتعريفات التى قدمها نيوتن كانت تطبق على الأجسام وعلى حركتها. أما عند ماكسويل فقد بدت مجالات القوى وقد اكتسبت نفس درجة الواقعية التى تتمتع بها الأجسام فى نظرية نيوتن. طبيعي ألاّ نتوقع أن تُقبل هذه الصورة بسهولة. ولكى نتجنب مثل هذا التغير في مفهوم الواقع بدا من الملائم أن نقارن المجالات الكهرومغنطيسية بمجالاتِ تَشَوُّهِ المرونة أو الإجهاد - موجات ضوء نظرية ماكسويل بموجات الصوت فى الأجسام المرنة. وعلى هذا فقد اعتقد العديد من الفيزيائيين بأن معادلات ماكسويل تشير إلى تشوه وسط مرن، أُطلق عليه اسم الأثير، ولقد مُنح الوسط هذا الاسم ليعنى وسطا خفيفا دقيقا يخترق المادة دون أن يُرى أو يُحس. على أن هذا التفسير لم يكن مرضيا تماما، لأنه لا يفسر الغياب الكامل لأى موجات ضوء طولية.

وأخيرا بَيَّنَت نظريةُ النسبية، التى سنناقشها فى الفصل التالى، وبطريقة حاسمة أننا لابد أن نتخلى عن مفهوم الأثير كجوهر، وهو المفهوم الذى تشير إليه معادلات ماكسويل. لايمكننا أن نناقش الحجج هنا، لكن النتيجة كانت: ضرورة اعتبار المجالات واقعا مستقلا.

ثمة نتيجة أخرى أكثر إثارة للفزع جاءت عن نظرية النسبية الخاصة، هى اكتشاف خصائص جديدة للمكان والزمان، أو - فى الواقع - اكتشاف علاقة بين المكان والزمان لم تكن معروفة قبلا ولا توجد فى ميكانيكا نيوتن.

وتحت تأثير هذا الوضع الجديد تماما، وصل الكثير من الفيزيائيين إلى الاستنباط التالى، إن يكن متسرعا بعض الشىء: لقد ثبت أخيرا بطلان ميكانيكا نيوتن. إن الواقع الأولى هو المجال لا الجسم. إن الوصف الصحيح للمكان والزمان يأتى عن صيغ لورنتس وآينشتين، لا عن بديهيات نيوتن. تقدم ميكانيكا نيوتن تقديرات تقريبية جيدة فى حالات كثيرة، ولقد أصبح من الضرورى الآن أن تُحسَّن لتعطى وصفا أكثر دقة للطبيعة.

إن مثل هذا التعبير من وجهة النظر التى توصلنا إليها أخيرا فى نظرية الكم، هو وصف فقير للغاية للوضع الفعلى. فهو أولا يتجاهل حقيقة أن معظم التجارب التى تُقَاس بها المجالات، هى تجارب ترتكز على ميكانيكا نيوتن. ثم ان ميكانيكا نيوتن لايمكن أن تُحَسَّن، إن مانستطيعه هو أن نستبدل بها شيئا مختلفا تماما!

علّمنا تطور نظرية الكم أن الأفضل أن يصف المرء الوضع كما يلى: حيثما يمكن استخدام مفاهيم ميكانيكا نيوتن فى وصف الوقائع بالطبيعة، تكون القوانين التى صاغها نيوتن صحيحة

تماما ولا يمكن تحسينها. لكن الظواهر الكهرومغنطيسية لايمكن أن توصف كما يجب باستخدام مفاهيم ميكانيكا نيوتن، وعلى هذا فإن التجارب في المجالات الكهرومغنطيسية والموجات الضوئية، ومعها تحليلها النظرى الذى قدمه ماكسويل ولورنتس وآينشتين، هذه التجارب قد قادت إلى نظام جديد مغلق من التعريفات والبديهات ومن المفاهيم، يمكن التعبير عنه برموز رياضية، نظام مترابط تماما مثل نظام ميكانيكا نيوتن، لكنه يختلف عنه اختلافا جوهريا.

وعلى هذا، فلابد أن تتغير حتى الآمال التى صاحبت أعمال العلماء منذ نيوتن. الواضح أن التقدم فى العلم لايمكن دائما أن يحقّق باستخدام المعروف من قوانين الطبيعة فى تفسير الظواهر الجديدة. فالظواهر الجديدة في بعض الحالات التى فُحصت لايمكن تفهمها إلا بمفاهيم جديدة صيغت لتلائمها، مثلما صيغت مفاهيم نيوتن لتلائم الوقائع الميكانيكية. يمكن بعدئذ أن تربط هذه المفاهيم الجديدة في نظام مغلق وأن يُعَبَّر عنها برموز رياضية. لكن، إذا ماتقدمت الفيزياء - أو العلوم الطبيعية على وجه العموم - بهذه الطريقة، فسيبزغ السؤال: ماهي العلاقة بين الزُمر المختلفة من المفاهيم؟ إذا ظهرت مثلا نفس المفاهيم أو الكلمات فى زمرتين مختلفتين وَعُرِّفت بشكل مختلف في السياق وفي التعبير الرياضى، فبأى معنى تمثل المفاهيم الواقع؟

ظهرت هذه المشكلة فور اكتشاف نظرية النسبية الخاصة. فمفهوما المكان والزمان ينتميان إلى كل من ميكانيكا نيوتن ونظرية النسبية. لكن المكان والزمان فى ميكانيكا نيوتن مفهومان مستقلان عن بعضهما، أما فى نظرية النسبية فهما مرتبطان بتحويل لورنتس. فى هذه الحالة الخاصة يمكن للمرء أن يوضح أن تقارير نظرية النسبية تقترب من تقارير ميكانيكا نيوتن عندما تكون كل السرعات بالنظام أقل كثيرا من سرعة الضوء. من هذا يمكن أن نستنتج أن مفاهيم ميكانيكا نيوتن لا يمكن أن تطبق على أى واقعة تتضمن سرعات تقترب من سرعة الضوء. بذلك وجدنا أخيرا حدودا مميزة لميكانيكا نيوتن لم نكن لنراها لا من زمرة المفاهيم المترابطة ولا من الملاحظات البسيطة للنظم الميكانيكية.

وعلى هذا فإن العلاقة مابين زمرتين مختلفتين من زمر المفاهيم يتطلب دائما استقصاء دقيقا جدا. وقبل أن ندلف إلى مناقشة عامة حول بنية أى من مثل هذه الزمر المغلقة المتماسكة من المفاهيم، وحول علاقاتها الممكنة، سنقدم وصفا مختصرا لما عُرِف الآن فى الفيزياء من هذه الزمر. يمكننا أن نميز أربعة نظم بلغت بالفعل صورها النهائية.

ولقد ناقشنا بالفعل المجموعة الأولى، زمرة ميكانيكا نيوتن، لقد صيغت لتلائم وصف كل النظم الميكانيكية، وحركة السوائل، والتذبذب المرن للأجسام. وهى تشمل علوم الصوتيات والاستاتيكا والديناميكا الهوائية.

أما النظام المغلق الثانى من المفاهيم فقد تشكل خلال القرن التاسع عشر فى ارتباط مع نظرية الحرارة. وبالرغم من أنه قد أمكن فى النهاية ربط نظرية الحرارة بالميكانيكا من خلال تطوير الميكانيكا الاستاتيكية، فلن يكون من الواقعى أن نعتبرها جزءا من الميكانيكا. والواقع أن نظرية الحرارة الظاهراتية تستخدم عددا من مفاهيم لانظير لها فى فروع أخرى من الفيزياء، مفاهيم مثل: الحرارة، والحرارة النوعية، والانتروبيا، والطاقة الحرة... إلخ. فإذا كنا نستطيع من هذا الوصف الظاهراتى أن ننتقل إلى التفسير الاحصائى، بأن نعتبر الحرارة طاقة تتنوع احصائيا بين العدد الكبير جدا من درجات الحرّية الراجع إلى التركيب الذرى للمادة، عندئذ لن يكون ارتباط الحرارة بالميكانيكا بأكثر من ارتباطه بالديناميكا الكهربية أو غيرها من أقسام الفيزياء. والمفهوم المحورى لهذا التفسير هو مفهوم الاحتمال، الوثيق الصلة بمفهوم الانتروبيا فى النظرية الظاهراتية. أضف إلى ذلك المفهوم أن النظرية الاحصائية للحرارة تتطلب مفهوم الطاقة. لكن أى زمرة متماسكة من البديهيات والمفاهيم فى الفيزياء ستحوى بالضرورة مفاهيم الطاقة وكمية الحركة وكمية الحركة الزاوية والقانون الذى تُحفظ به هذه المقادير تحت شروط معينة. وهذا صحيح بالضرورة إذا ماكانت الزمرة المتماسكة قد قصد بها وصف ملامح للطبيعة معينة صحيحة فى كل وقت وفى كل مكان، نقصد ملامح لا تعتمد على المكان أو الزمان، أو - كما يقول الرياضيون - ثابتة تحت التحولات التحكمية فى المكان والزمان، والدورانات فى المكان، وتحويل جاليليو (أو لورنتس). وعلى هذا فمن الممكن أن توحد نظرية الحرارة مع أىّ من نظم المفاهيم الأخرى.

نشأ النظام المغلق الثالث من المفاهيم والبديهيات من ظاهرتى الكهرباء والمغنطيسية، وبلغ صورته النهائية فى العقد الأول للقرن العشرين من خلال أعمال لورنتس وآينشتين ومينكوفسكى. وهو يضم الديناميكا الكهربية، والنسبية الخاصة، والبصريات، والمغنطيسية، وقد نضيف نظرية ده بروى عن موجات المادة لكل الضروب المختلفة من الجسيمات الأولية. لكنه لا يضم النظرية الموجية لشرودنجر.

وأخيرا فإن النظام الرابع هو أساسا نظرية الكم كما شرحت في أول فصلين من هذا الكتاب. والمفهوم المحوري هو دالة الاحتمال، أو "المصفوفة الاحصائية" كما يسميها الرياضيون. وهو يضم ميكانيكا الكم، والميكانيكا الموجية، ونظرية الطيف الذري، والكيمياء، ونظريةً لخصائص أخرى للمادة مثل الموصلية الكهربية والفرّيمغنطيسية.

يمكن أن نبين العلاقات بين هذه الزمر الأربع في الشكل التالي: الزمرة الأولى مُضَمَّنَة في الثالثة كحالة حدية عندما تعتبر سرعة الضوء كبيرة إلى أبعد حد، وهي مُضَمَّنَة أيضا في الرابعة كحالة حدية عندما نعتبر ثابت بلانك صغيرا إلى أبعد حد. والزمرة الأولى وبعض الثالثة ينتميان إلى الرابعة كوضع قَبْلي لوصف التجارب. ويمكن أن تُربط الثانية بأي من الثلاث الأخريات، وإن كانت علاقتها بالرابعة ذات أهمية خاصة. والوجود المستقل للثالثة والرابعة يقترح وجود مجموعة خامسة تعتبر الأولى والثالثة والرابعة حالات حدية لها. ربما توصلنا يوما إلى هذه المجموعة الخامسة مرتبطة بنظرية الجسيمات الأولية.

أسقطنا من هذه القائمة مجموعة المفاهيم المرتبطة بنظرية النسبية العامة، فقد لا تكون قد بلغت بعد صورتها النهائية. لكن علينا أن نؤكد أنها تختلف بلا ريب عن الزمر الأربع الأخرى.

بعد هذا العرض السريع، ربما عدنا إلى السؤال الأكثر عمومية عما يجب أن نعتبره ملمحاً لمثل هذا النظام المغلق من البديهيات والتعريفات. ربما كان أهم الملامح هو إمكانية العثور على تعبير رياضي متماسك له. وهذا التعبير لابد أن يَضْمَن ألاَّ يحتوى النظام على أية تناقضات. ثم أنه لابد أن يكون ملائما لوصف مجال واسع من الخبرة. والتنوع الهائل من الظواهر لابد أن يناظر العدد الكبير من حلول المعادلات في التعبير الرياضي. ولا يمكن على العموم أن نستنبط من المفاهيم مدى محدودية المجال، فالمفاهيم لا تُعَرَّف بشكل دقيق بالنسبة لعلاقتها بالطبيعة، برغم التحديد الصارم لارتباطاتها المكنة. وعلى هذا فإنا سنعرف الحدود من الخبرة، من حقيقة أن المفاهيم لا تسمح بوصف كامل للظواهر الملحوظة.

بعد هذا التحليل الموجز لبنية الفيزياء اليوم، يمكننا الآن أن نناقش العلاقة بين الفيزياء وبين غيرها من فروع العلوم الطبيعية. لعل الكيمياء هي أقرب جيران الفيزياء. والواقع أن هذين العلْمين قد وصلا من خلال نظرية الكم إلى اتحاد كامل. لكنهما كانا منفصلين كثيرا منذ مائة عام. كان منهجاهما في البحث مختلفين تماماً، ولم يكن لمفاهيم الكيمياء في ذلك الوقت

مـايناظرهـا فى الفـيـزيـاء. فـالتكافـؤ والفـاعليـة والقـابليـة للذوبان والتطايرية هى مـفـاهـيم ذات خـصـائص تغلب عليـها الوصـفـيـة، وكان من الصـعب ادراج الكيـمـيـاء بين العلوم المضبـوطة. وعندما طُورت نظرية الحرارة على أواسط القرن الماضى بدأ العلماء فى تطبيقها على العمليات الكيماوية. ومنذ ذلك الحين أصبح البحث العلمى فى هذا المجال وقد حكمه الأمل فى اختزال قوانين الكيمياء إلى ميكانيكا الذرات. على أنه من الواجب أن نؤكد أن هذا لم يكن ممكنا داخل هيكل الميكانيكا النيوتونية. فلكى نصل إلى وصف كمى لقوانين الكيمياء، علينا أن نصوغ نظاما من المفـاهيم أرحبَ للفـيـزياء الذرية. ولقـد أنجـزت نظرية الكم هذا فى نهـاية المطاف، وهى النظرية التى تتجذر فى الكيمياء مثلما تتجذر فى الفيزياء الذرية. هنا غدا من اليسير أن نرى أنه لم يكن من المستطاع اختزال قوانين الكيمياء إلى الميكانيكا النيوتونية للجسيمات الذرية، لأن سلوك العناصر الكيماوية كان يفصح عن درجة من الثبات لا تتوفر فى النظم الميكانيكية على الاطلاق. ولم تفهم هذه النقطة تماما إلى أن ظهرت نظرية بوهر للذرة عام ١٩١٣. ولقد يمكن القول إن مفاهيم الكيمياء فى نهاية الأمر هى مفاهيم متممة - جزئيا - للمفاهيم الميكانيكية. فإذا عرفنا أن ما يحدد الخصائص الكيماوية للذرة هو أدنى الحالات الموقوفة لها، فلن نستطيع فى نفس الوقت أن نتحدث عن حركة الإلكترونات فى الذرة.

والعلاقة الحالية بين البيولوجيا من ناحية وبين الفيزياء والكيمياء من ناحية أخرى، قد تكون شبيهة جدا بالعلاقة بين الكيمياء والفيزياء منذ مائة عام. تختلف مناهج البيولوجيا عن مناهج الفيزياء والكيمياء، والمفاهيم البيولوجية النموذجية لها طبيعة تغلب عليها الوصفية مقارنة بمفاهيم العلوم المضبوطة. فليس ثمة نظير فى الفيزياء والكيمياء لمفاهيم مثل الحياة، العضو، الخلية، وظيفة العضو، الإدراك الحسى. من ناحية أخرى سنجد أن معظم التقدم الذى تم فى البيولوجيا خلال المائة عام الماضية قد جاء عن تطبيق الفيزياء والكيمياء على الكائنات الحية. ثم إن هدف البيولوجيا فى زماننا هذا هو تفسير الظواهر البيولوجية على أساس القوانين الفيزيائية والكيميائية المعروفة. مرة أخرى يبزغ التساؤل عما إذا كان لهذا الأمل مايبرره.

ومثلما كان الوضع فى الكيمياء، تعلّمنا الخبرة البيولوجية البسيطة أن الكائنات الحية تكشف عن درجة من الثبات لايمكن بالتأكيد أن تمتلكها البنى العامة المعقدة المؤلفة من أنماط عديدة من الجزيئات حسب القوانين الفيزيائية والكيميائية وحدها. وعلى هذا فثمة مايلزم اضافته إلى قوانين الفيزياء والكيمياء قبل أن نصل إلى تفهم كامل للظواهر البيولوجية.

ثمة فكرتان مختلفتان تماما فى هذا الخصوص نوقشتا كثيرا فى المجال البيولوجى. الأولى هى نظرية التطور لداروين وعلاقتها بالوراثة الحديثة. تقول هذه النظرية إن المفهوم الوحيد الذى يلزم إضافته إلى مفاهيم الفيزياء والكيمياء حتى يمكن تفهم الحياة هو مفهوم التاريخ. إن الفترة الزمنية الهائلة التى تبلغ نحو أربعة آلاف مليون سنة والتى مرت منذ نشأة الأرض، هذه الفترة قد منحت الطبيعة امكانية تجريب تنوعات تكاد لا تُحَدّ من تراكيب مجاميع الجزيئات. من بين هذه التراكيب كان ثمة عدد تمكّن من نسخ نفسه باستخدام مجاميع أصغر من المادة المحيطة. تمكنت مثل هذه التراكيب إذن من التكاثر بأعداد كبيرة. ثم ان التغيرات العَرَضية فى التركيب قد وفرت بدورها قدرا إضافيا من التراكيب. وكان أن تنافست التركيبات المختلفة على المادة المتوفرة فى البيئة المحيطة. بهذه الطريقة، من خلال "البقاء للأصلح"، حدث تطور الكائنات الحية فى نهاية المطاف. لاشك أن هذه النظرية تحمل قدرا كبيرا من الحقيقة، ويدعى الكثير من البيولوجيين أن اضافة مفهومى التاريخ والتطور ستكون كافية تماما لتفسير كل الظواهر البيولوجية. ثمة حجة كثيرا ماتطرح فى تعضيد هذه النظرية، هى صحة قوانين الفيزياء والكيمياء دائماً حيثما اختبرت فى الكائنات الحية. يبدو بالتأكيد أن ليس ثمة مكان لاستدعاء "قوة حيوية" تختلف عن قوى الفيزياء.

من ناحية أخرى، فإن هذه الحجة بالذات هى التى فقدت الكثير من أهميتها بسبب نظرية الكم. فلما كانت مفاهيم الفيزياء والكيمياء تشكل زمرة مغلقة متماسكة - نعنى زمرة نظرية الكم - فمن الضرورى، حيثما يمكن استخدامها فى وصف الظواهر، أن تسرى أيضا القوانين المرتبطة بها. وعلى هذا، فحيثما نعامل الكائنات الحية كنظم فزيا كيماوية: فمن الضرورى أن نتصرف هكذا. أما السؤال الوحيد الذى نستطيع منه أن نعرف شيئا عن كفاية هذه الفكرة الأولى فهو ما إذا كانت المفاهيم الفزياكيماوية تسمح بوصف كامل لهذه الكائنات. والبيولوجيون الذين أجابوا بالنفى على هذا السؤال يعتنقون عموما الفكرة الثانية، التى علينا الآن أن نعرضها.

ربما أمكننا أن نعرض الفكرة الثانية فى الصورة التالية: يصعب جداً أن نرى كيف يمكن لمفاهيم كالإدراك الحسى، ووظيفة العضو، والعاطفة، كيف لها أن تكون جزءا من زمرة متماسكة من مفاهيم نظرية الكم مضافا إليها مفهوم التاريخ. غير أن هذه المفاهيم من ناحية أخرى ضرورية للوصف الكامل للحياة، حتى لو استثنينا الآن جنس البشر لأنه يثير مشاكل

جديدة أبعد من البيولوجيا. وعلى هذا فقد يكون من الضرورى لتفهم الحياة أن نمضى لأبعد من نظرية الكم ونقيم زمرة جديدة متماسكة من المفاهيم، تكون الفيزياء لها بمثابة "الحالات الحدية". ولقد يكون التاريخ جزءا جوهريا منها، وستنتمى إليها أيضا مفاهيم كالإدراك الحسى والتكيف والعاطفة. فإذا كان هذا الرأى صحيحا فإن تجميع نظرية داروين والفيزياء والكيمياء لن يكفى لتفسير الحياة العضوية، لكنا سنستطيع أن نعتبر الكائنات الحية - ولحد كبير - نظماً فزياكيماوية - أو آلات كما يقول ديكارت ولابلاس - وأنها ستستجيب أيضا هكذا إذا عوملت هكذا. يمكننا فى نفس الوقت أن نفترض، مثلما فعل بوهر، أن معرفتنا بأن الخلية حية، قد تكون متممة للمعرفة الكاملة بتركيبها الجزيئى. ولما كنا لن نصل إلى المعرفة الكاملة لهذا التركيب إلا بتحطيم حياة الخلية، فمن الممكن منطقيا أن تَحُولَ الحياة دون التحديد الكامل للتركيب الفزياكيماوى التحتى. وحتى إذا اعتنقنا الفكرة الثانية هذه، فإنا قد لا نزكى للبحث البيولوجى منهجا آخر غير ماأتبع خلال العقود الماضية: محاولة تفسير أكبر قدر ممكن على أساس القوانين الفزياكيماوية المعروفة، ووصف سلوك الكائنات بدقة دون أى تحيزات نظرية.

والأولى من هاتين الفكرتين هى الأكثر شيوعا بين البيولوجيين المعاصرين، وإن كانت الخبرة المتاحة فى الوقت الحاضر لا تكفى بالقطع للمفاضلة بين الاثنتين. أما تفضيل الكثير من البيولوجيين للفكرة الأولى فقد يرجع إلى القسمة الديكارتية التى تغلغلت فى أعماق الذهن البشرى خلال القرون الماضية. فلما كان "الشىء المفكر" يقتصر على البشر، على "الأنا"، فليس للحيوانات إذن روح، هى تنتمى بالكامل إلى "الشىء الممتد". وعلى هذا فمن الممكن أن تُفهم الحيوانات - هكذا يمضى الجدل - تماما مثلما المادة عموما، ويلزم أن تكفى لتفسير سلوكها قواعدُ الفيزياء والكيمياء ومعها مفهوم التاريخ. فإذا ما استحضرنا "الشىء المفكر"، عندئذ فقط يظهر وضع جديد يتطلب مفاهيم جديدة تماما. لكن القسمة الديكارتية هى إفراط خطر فى التبسيط حتى ليصبح من المحتمل جدا أن تكون الفكرة الثانية هى الصحيحة.

وبعيدا عن هذا السؤال - الذى لا يمكننا بعد أن نحسمه - سنجد أننا لا نزال بعيدين جدا عن مثل هذه الزمرة المتماسكة المغلقة من المفاهيم لوصف الظواهر البيولوجية. إن درجة التعقيد فى البيولوجيا مثبطة لدرجة لا نتمكن معها فى ا لوقت الحاضر أن نتخيل أية مجموعة من المفاهيم يمكن أن تحدَّدَ فيها الارتباطات بدقةٍ تسمح بالتعبير الرياضى عنها.

فإذا مضينا عبر نطاق البيولوجيا وأضفنا السيكولوجيا في نقاشنا، فليس ثمة أدنى شك في أن مفاهيم الفيزياء والكيمياء والتطور جميعا لن تكفي لوصف الحقائق. هنا سنجد أن ظهور نظرية الكم قد غير موقفنا عما كان عليه بالقرن التاسع عشر. في تلك الحقبة كان ثمة من العلماء مَنْ يميل إلى الاعتقاد بإمكان تفسير الظواهر السيكولوجية على أساس من فيزياء وكيمياء المخ. وليس ثمة مبرر لمثل هذا الافتراض من وجهة النظر الكماتية ـ النظرية. ليس لنا أن نتوقع أن تكفي هذه لتفسيرها، بالرغم من أن الوقائع الفيزيائية بالمخ تنتسب إلى الظواهر النفسية. إننا لانشك أبدا في أن المخ يعمل كآلية سيكوكيماوية إذا اعتُبِر هكذا، لكن تفسير الظواهر النفسية يتطلب أن نبدأ من حقيقة أن الذهن البشري يدخل كموضوع وكذات في العملية العلمية للسيكولوجيا.

فإذا عدنا لننظر في الزُّمَر المختلفة من المفاهيم التي تشكلت في الماضي أو التي قد تتشكل في المستقبل، في محاولة أن نجد بالعلم سبيلا خلال العالم، فسنجد أنها تبدو وكأنْ قد أملاها الدور المتعاظم الذي يلعبه العامل الذاتي في الزمرة. من الممكن أن تؤخذ الفيزياء الكلاسيكية على أنها الصورة المثالية التي نتحدث بها عن العالم وكأنه منفصل تماما عنا. والزمر الثلاث الأولى تناظر هذا التصور المثالي. والزمرة الأولى وحدها تمتثل تماماً "للقَبْلِيَّة" في فلسفة كانط. أما الزمرة الرابعة ـ زمرة نظرية الكم ـ فيُجْلَب فيها الانسان كموضوع للعلم، من خلال الأسئلة التي توجَّه للطبيعة في الصيغ القَبْلية للعلم البشري. إن نظرية الكم لا تسمح بالوصف الموضوعي الكامل للطبيعة. ولقد يكون من المهم للتوصل إلى تفهم كامل في البيولوجيا أن يكون واضع الأسئلة هو نوع الانسان، الذي ينتمي هو نفسه إلى جنس الكائنات الحية ـ نعني أننا نعرف بالفعل ماذا تكون الحياة حتى قبل أن نتمكن من تعريفها علميا. لكن، ربما كان من غير الجائز ألاّ ندلف إلى هذه التأملات عن التركيب المحتمل لزمرِ مفاهيمٍ لم تتشكل بعد.

فإذا ما قارنّا هذا النظام بالتصنيفات الأقدم التي ظهرت في المراحل الأسبق للعلوم الطبيعية، فسنرى أننا الآن قد قسمنا العالم ليس إلى مجاميع مختلفة من المواضيع، وإنما إلى مجاميع مختلفة من العلاقات. كنا مثلا في العصور القديمة للعلم نميز كمجاميع مختلفة: المعادن، والنباتات، والحيوانات، والبشر. كانت هذه المجاميع تعتبر ذات طبيعة مختلفة، مصنوعة من مواد مختلفة، وسلوكها تحدده قوى مختلفة. لكنا نعرف الآن أنها جميعا ـ المعادن كما

الحيوان كما النبات ـ تتكون من نفس المادة، نفس المركبات الكيماوية المختلفة، كما أن القوى التي تعمل بين الأجزاء المختلفة للمادة هي في نهاية المطاف واحدة بها جميعا. أما ما يمكن تمييزه فهو نوع العلاقة ذات الأهمية في ظاهرة معينة. فعلى سبيل المثال، عندما نتكلم عن فعل القوى الكيماوية، فإننا نعنى نوعا من العلاقة أكثر تعقيدا من ميكانيكا نيوتن، أو تختلف عنها على أية حال. يبدو العالم بذلك نسيجا معقدا من الوقائع، تتناوب فيه العلاقات من كل نوع، أو تتراكب أو تتجمع، وبذلك تُحدد بنية الكل.

وحيثما نعبر عن مجموعة من العلاقات بزمرة مغلقة متماسكة من المفاهيم والبديهات والتعريفات والقوانين ـ والتي نعبر عنها هي الأخرى ببرنامج رياضي ـ فإنا بذلك نكون قد عزلنا، بفرض التوضيح، هذه المجموعة من العلاقات ووضعناها في صورة مثالية، لكنا حتى لو توصلنا بهذه الطريقة إلى التوضيح الكامل، فلن نعرف مدى دقة زمرة المفاهيم هذه في وصف الواقع.

ولقد نقول إن وضع العلاقات في صورة مثالية هو جزء من اللغة البشرية التي تشكلت عن التفاعل بين العالم وأنفسنا، استجابة بشرية لتحدى الطبيعة. وفي هذا الصدد يمكن أن نقارنها بالأساليب المختلفة في الفن، قل مثلا فن العمارة أو الموسيقى. من الممكن أن نُعَرِّف أسلوب الفن أيضا بزمرة من القواعد الاصطلاحية تطبق على مادة هذا الفن بخاصة. وقد لايلزم أن تُمَثَّل هذه القواعد ـ بشكل صارم ـ بمجموعة من المفاهيم الرياضية والمعادلات، لكن عناصرها الأولية ستكون شديدة الصلة بالعناصر الأولية للرياضيات. تلعب المساواة والتفاوت، التكرار والتناسق، وبنى للمجاميع معينة، تلعب الدور الرئيسى في كل من الفن والرياضيات. والعادة أن يُستَخدم عمل بضعة أجيال في تطوير ذلك النظام الاصطلاحى الذى يطلق عليه فيما بعد اسم الأسلوب الفنى، تطويره من بداياته البسيطة وحتى الثروة من النماذج المتقنة التي تميز كماله. يتركز اهتمام الفنان على عملية البلورة هذه، حيث تتشكل مادة الفن ـ بفعله ـ وتتخذ الصيغ المختلفة التي حفزتها المفاهيم الاصطلاحية الأولى لهذا الأسلوب. وما أن تكتمل حتى يخبو الاهتمام ـ لأن كلمة "الاهتمام" تعنى: أن تكون مع شيء، أن تشارك في عملية حياة، ولقد بلغت هذه العملية نهايتها. إلى أى مدى تمثل القواعد الاصطلاحية للأسلوب الفنى واقع الحياة الذى يهدف اليه الفن؟ هامرة أخرى لن نستطيع بتلك القواعد أن نجيب السؤال. إن الفن دائما هو صياغة المثال، والمثال يختلف عن الواقع ـ أو عن واقع الظلال على الأقل، كما قد يقول أفلاطون ـ لكن صياغة المثال ضرورية للفهم.

قد تبدو المقارنة بين الزُّمَر المختلفة من المفاهيم فى العلوم الطبيعية وبين الأساليب المختلفة للفن، بعيدة جدا عن الحقيقة عند مَنْ يعتبر الأساليب المختلفة للفن نتائج تحكمية لذهن البشرى. ولقد يجادل هؤلاء بالقول إن هذه الزمر المختلفة من المفاهيم فى العلوم الطبيعية تمثل واقعا موضوعيا، علمتنا إياها الطبيعة، وهى إذن ليست تحكمية على الاطلاق. هى نتيجة حتمية للتزايد التدريجي لمعرفتنا التجريبية بالطبيعة. وسنجد أن معظم العلماء يوافقون على هذا الرأى. لكن، هل الأساليب المختلفة للفن حقا نتاج تحكمى للذهن البشرى؟ مرة أخرى لايجب أن تضللنا القسمة الديكارتية. ينشأ الأسلوب عن التفاعل بين العالم وأنفسنا، أو بشكل أكثر تحديدا بين روح العصر والفنان، وربما كانت روح العصر حقيقة فى مثل موضوعية أىّ من الحقائق بالعلوم الطبيعية. تُظهر هذه الروحُ ملامحَ للعالم معينة، مستقلة حتى عن الزمن، وتكون بهذا المعنى أزلية. يحاول الفنان بعمله أن يجعل هذه الملامح مفهومة، وفى محاولته هذه يتجه إلى صيَغ الأسلوب الذى يعمل به.

وعلى هذا فإن العمليتين، عملية العلم وعملية الفن، لا يختلفان كثيرا. كلاهما يشكل على مدى القرون لغة بشرية يمكننا بها أن نتحدث عن الأجزاء الأقصى من الواقع. والزمر المتماسكة من المفاهيم، ومثلها الأساليب المختلفة للفن، ليست إلا كلماتٍ ـ أو مجاميع من كلمات ـ فى تلك اللغة.



نظرية النسبية

لقد لعبت نظرية النسبية دائما دورا غاية فى الأهمية فى الفيزياء الحديثة. فبهذه النظرية أدرك العلماء لأول مرة الحاجة إلى التغيير فى المبادىء الأساسية للفيزياء. وعلى هذا فإن مناقشة المشاكل التى أثارتها النظرية، وقامت بحل جزء منها، هذه المناقشة ترتبط ارتباطا وثيقاً بمعالجتنا للتضمينات الفلسفية للفيزياء الحديثة. وعلى عكس نظرية الكم، يمكننا هنا أن نقول - بمعنى ما - إن تطور نظرية النسبية لم يستغرق إلا وقتا قصيرا جدا، من الاعتراف النهائى بالصعاب وحتى حلها. ظهر أول دليل على استحالة كشف حركة انتقال الأرض بالطرق البصرية عندما كرر مورلى وميلر عام ١٩٠٤ تجربة مايكلسون. ثم كان أن ظهر بحث آينشتين الحاسم بعد أقل من سنتين. من ناحية أخرى فإن تجربة مورلى وميلر وبحث آينشتين لم يكونا إلا الخطوات الأخيرة فى تطوير كان قد ابتدأ قبل ذلك بوقت طويل، تطوير يمكن أن نضعه تحت عنوان "الديناميكا الكهربائية للأجسام المتحركة".

الواضح أن الديناميكا الكهربائية للأجسام المتحركة كانت مجالا هاما فى الفيزياء والهندسة منذ ابتكر المحرك الكهربى. على أن مشكلة خطيرة برزت فى الموضوع عندما اكتشف ماكسويل الطبيعة الكهرومغنطيسية لموجات الضوء. تختلف هذه الموجات فى خصيصة هامة عن غيرها من الموجات - عن موجات الصوت مثلا: فهى تنتشر فيما يبدو أنه حيز فارغ. عندما يدق ناقوس فى وعاء مفرغ الهواء فإن الصوت لاينتقل إلى الخارج، لكن الضوء ينفذ بسهولة خلال الحيز المفرغ. وعلى هذا فقد افتُرض أنه من الممكن اعتبار موجات الضوء موجات مرنة من جوهر خفيف جدا يسمى الأثير لايمكن رؤيته أو الاحساس به برغم أنه يملأ المكان الفارغ كما يملأ الحيز الذى توجد به المواد الأخرى، كالهواء والزجاج. لم يطرأ على أذهان الفيزيائيين

آنئذ أن الموجات الكهرومغنطيسية في ذاتها قد تكون واقعا مستقلا عن أى جسم. ولما كان هذا الجوهر المفترض على مايبدو يتخلل كل مادة أخرى، فقد بزغ السؤال: ماذا يحدث إذا مابدأت المادة تتحرك؟ هل يشترك الأخير في هذه الحركة؟ وإذا كان الأمر كذلك، فكيف تنتشر موجة الضوء في الأثير المتحرك؟

والتجارب المتعلقة بهذا السؤال تجارب صعبة للسبب التالي: سرعات الأجسام المتحركة عادة ماتكون صغيرة جدا مقارنة بسرعة الضوء. وعلى هذا فإن حركة هذه الأجسام لن تعطى سوى آثار ضئيلة جدا تتناسب مع نسبة سرعة الجسم إلى سرعة الضوء، أو إلى هذه النسبة مرفوعة إلى أس أعلى. ولقد سمحت أبحاث ويلسون وورلاند ورونتيجن وآيخينفالد وفيزو، سمحت بقياس هذه الآثار بدقة تناظر الأس الأول لهذه النسبة. وتمكنت نظرية الإلكترونات التي طورها لورنتس عام ١٨٩٥ من وصف هذه الآثار بشكل مرضٍ للغاية. لكن تجربة مايكلسون ومورلي وميلر خلقت وضعا جديدا.

سنناقش هذه التجربة ببعض التفصيل. فلكي نحصل على آثار أكبر ومن ثمَّ على نتائج أكثر دقة، يبدو من الأفضل أن تُجرى التجارب باستخدام أجسام ذات سرعة كبيرة جدا. تتحرك الأرض حول الشمس بسرعة نحو ٢٠ ميلا في الثانية. فإذا كان الأثير ساكنا بالنسبة للشمس ولايتحرك مع الأرض، فإن هذه السرعة الكبيرة للأثير بالنسبة للأرض ستظهر كتغير في سرعة الضوء، فهذه السرعة عندما يكون انتشار الضوء موازيا لاتجاه حركة الأثير لابد أن تختلف عنها اذا كان الانتشار متعامدا عليه. وحتى لو كان الأثير يتحرك جزئيا مع الأرض فلابد أن يُظْهر أثرا ماقد نسميه رياح الأثير، وهذا الأثر قد يتوقف إذن على ارتفاع الموقع الذى تجرى به التجربة عن سطح البحر. ولقد اتضح من حساب الأثر المتوقع أنه صغير للغاية لأنه يتناسب مع مربع نسبة سرعة الأرض إلى سرعة الضوء، وأن علينا إذن أن نجرى تجارب دقيقة للغاية على تداخل شعاعين من الضوء يتحركان في موازاة حركة الأرض أو عموديا عليها. قام مايكلسون بأول تجربة من هذا القبيل عام ١٨٨١، لكنها لم تكن دقيقة بما فيه الكفاية. ثم كُررت هذه التجربة فلم تظهر أدنى إشارة إلى الأثر المتوقع. لكن تجارب مورلي وميلر التي أجرياها عام ١٩٠٤ وفرت الدليل القاطع على أنْ ليس ثمة وجود لأثر بهذا الحجم.

قابلت هذه النتيجة على غرابتها موضوعا آخر كان محل نقاش بين الفيزيائيين قبل ذلك بزمن. تحقق ميكانيكا نيوتن "مبدأ النسبية" يمكن وصفه بما يلي: إذا أوفت الحركةُ الميكانيكية

فى نظام مرجعى معين قوانينَ ميكانيكا نيوتن، فسيكون هذا صحيحا أيضا بالنسبة لأى إطار مرجعى آخر طالما كان فى حركة غير دوارة منتظمة بالنسبة للنظام الأول. أو بمعنى آخر إن حركة الانتقال المنتظمة للنظام لا تسبب آثارا ميكانيكية على الاطلاق، ومن ثم فلا يمكن أن نلاحظها عن طريق مثل هذه الآثار.

بدا للفيزيقيين أن مبدأ النسبية هذا لايمكن أن يكون صحيحا فى البصريات أو الديناميكا الكهربائية. فإذا كان النظام الأول ساكنا بالنسبة للأثير، فإن النظم الأخرى لن تكون، وعلى هذا فلابد أن تُدْرَك حركتها بالنسبة للأثير عن طريق آثار من النمط الذى قرره مايكلسون. ثم كان أن أحيت النتيجة السلبية لتجربة مورلى وميلر عام ١٩٠٤، أحيت فكرة أن مبدأ النسبية هذا قد يكون صحيحا فى الديناميكا الكهربائية كما ميكانيكا نيوتن.

من ناحية أخرى، ثمة تجربة قديمة قام بها فيزو عام ١٨٥١ كانت تبدو بالتأكيد مناقضة لمبدأ النسبية. قاس فيزو سرعة الضوء فى سائل متحرك. فإذا كان مبدأ النسبية صحيحا فإن السرعة الكلية للضوء فى السائل المتحرك لابد أن تكون حاصل جمع سرعة السائل مضافا إليها سرعة الضوء فى السائل الساكن. لكن هذا لم يكن صحيحا، فقد بينت التجربة أن السرعة الكلية كانت أقل بعض الشىء.

ومع ذلك فإن النتائج السلبية للكثير غير هذه من التجارب الحديثة لإدراك الحركة "بالنسبة للأثير"، هذه النيتائج قد ألهمت المنظرين من الفيزيائين والرياضيين فى ذلك الوقت أن يبحثوا عن تفسيرات رياضية توفق مابين معادلة الموجة لانتشار الضوء ومبدأ النسبية. اقترح لورنتس عام ١٩٠٤ تحويلا رياضيا يحقق هذه المتطلبات. قدم فرضا بأن الأجسام المتحركة تنكمش فى اتجاه الحركة بمعامل يتوقف على سرعة الجسم، وأن هناك فى النظم المرجعية المختلفة أزمنة "ظاهرية" مختلفة تحلُّ بطرق شتى مَحَلَّ الزمن "الحقيقى". بهذه الطريقة توصل إلى شىء يشبه مبدأ النسبية: إن السرعة "الظاهرية" للضوء واحدة فى كل النظم المرجعية. ولقد ناقش بوانكاريه وفيتزجيرالد وغيرهما من الفيزيائيين آراء مشابهة.

وكانت الخطوة الحاسمة بحثا لأينشتين نُشر عام ١٩٠٥ برهن فيه أن الزمن "الظاهرى" لتحويل لورنتس هو الزمن "الحقيقى" وألغى ماكان لورنتس يسميه الزمن "الحقيقى". كان هذا تغيرا فى أسس الفيزياء ذاتها، تغيرا جذريا غير متوقع تَطَلَّب كلَّ شجاعة شاب عبقرى ثورى.

واتخاذ هذه الخطوة لايتطلب - التمثيل الرياضي للطبيعة - أكثر من التطبيق المتماسك لتحويل لورنتس. لكن تفسيراتها الجديدة قد غيرت بنية المكان والزمان، وظهر الكثير من مشاكل الفيزيقا في ضوء جديد. وعلى سبيل المثال فمن الممكن إلغاء جوهر الأثير تماما. فلما كانت كل نظم الإحالة الموجودة في حركة انتقال منتظمة بالنسبة لبعضها بعضا، لما كانت متساوية بالنسبة لوصفها للطبيعة، فليس ثمة معني للقول بوجود مادة (الأثير) ساكنة في واحد فقط من هذه النظم. لا حاجة في الواقع لمثل هذا الجوهر، والأسهل أن نقول إن موجات الضوء تنتشر في الحيز الفارغ، وإن المجالات الكهرومغنطيسية واقع مستقل يمكن أن يوجد في الحيز الفارغ.

لكن التغير الحاسم كان في بنية المكان والزمان. يصعب جدا أن نصف هذا التغير بكلمات اللغة المألوفة، دون استخدام الرياضيات، لأن الكلمتين الشائعتين "المكان" و "الزمان" تشيران إلى بنية للمكان والزمان، هي في واقع الأمر صياغة مثالية للبنية الحقيقية وتبسيط مفرط لها. ومع ذلك فعلينا أن نحاول وصف البنية الجديدة، وربما فعلنا ذلك بالطريقة الآتية:

عندما نستخدم المصطلح: "الماضي" فإنا نضم تحته تلك الوقائع التي يمكن أن نعرفها، على الأقل من ناحية المبدأ، التي يمكن أن نكون قد سمعنا عنها، على الأقل من ناحية المبدأ. وبنفس الشكل فإنّا نضم في المصطلح "المستقبل" كل الوقائع التي يمكن أن نؤثر فيها، على الأقل من ناحية المبدأ، التي يمكن أن نحاول تغييرها أو منعها، على الأقل من ناحية المبدأ. وليس من السهل بالنسبة لغير الفيزيائي أن يعرف السبب في أن يكون هذا التعريف لمصطلحي "الماضي" و "المستقبل"، هو الأكثر ملاءمة، لكن يمكننا أن نلحظ أنه يناظر بدقة بالغة استخدامنا الشائع للمصطلحين. فاذا استخدمنا المصطلحين بهذه الطريقة فسنجد أن ثمة نتائج لتجارب عديدة تبين أن محتوى "المستقبل" و "الماضي" لايعتمد على حالة المراقب من حيث حركته أو أية خصائص أخرى له. يمكننا أن نقول إن التعريف ثابت لايتغير مع حراكة المراقب، وهذا صحيح في كل من ميكانيكا نيوتن ونظرية أينشتين للنسبية.

لكن الفارق هو الآتي: نحن نفترض في النظرية الكلاسيكية أن ثمة فترة غاية في القصر، نسميها اللحظة الحاضرة، تفصل مابين المستقبل والماضي. ولقد عرفنا أن الوضع يختلف في نظرية النسبية. فالمستقبل والماضي تفصلهما فترة متناهية يتوقف طولها على بعد المراقب. إن كل فعل ينتشر بسرعة تقل عن سرعة الضوء أو تساويها. وعلى هذا فإن المراقب لا يمكنه في

لحظة بذاتها أن يعرف، أو يؤثر على حدث فى موقع بعيد يقع بين زمنين مميزين: احدهما هو لحظة صدور إشارة ضوئية من مكان وقوع الحادثة لكي تصل إلى المراقب فى لحظة الملاحظة، أما الآخر فهو اللحظة التي عندها تصل إلى موقع الحدث إشارة ضوئية يطلقها المراقب لحظة الملاحظة. إن كل الفترة الزمنية المتناهية بين هاتين اللحظتين هى مانسميه "الزمن الحاضر" بالنسبة للمراقب لحظة الملاحظة. وكل واقعة تحدث بين هذين الزمنين المميّزين قد نقول إنها "متزامنة" مع فعل الملاحظة.

واستعمالنا التعبير "قد نقول" إنما يشير إلى غموض كلمة "متزامنة" وهو غموض يرجع إلى حقيقة أن هذه الكلمة قد نشأت عن خبرتنا فى الحياة اليومية حيث تعتبر سرعة الضوء دائما سرعةً لا نهائية. والواقع أننا نستطيع أن نُعرِّف الكلمة بشكل مختلف بعض الشيء، استعمله آينشتين فى أبحاثه. هذا هو التعريف الثاني: عندما تحدث واقعتان متزامنتان فى نفس الموقع فى الفضاء فإنا نقول إنهما "متزامكتان". وهذا تعبير لا غموض فيه على الاطلاق. دعنا الآن نتخيل ثلاث نقط فى الفضاء توجد جميعا على خط مستقيم بحيث تقع النقطة الوسطى منها بالضبط في منتصف المسافة بين النقطتين الطرفيتين. فإذا ماحدثت واقعتان بالنقطتين الطرفيتين بحيث يتزامك عند النقطة الوسطى وصولُ الإشارتين الضوئيتين المنبعثتين منهما، قلنا إن الواقعتين متزامنتان. وهذا التعريف أضيق من التعريف الأول. ومن أهم نتائجه أنه إذا ماكانت واقعتان متزامنتين بالنسبة لمراقب ما، فقد لا تكونان كذلك عند آخر، إذا ما كان هذا متحركا بالنسبة للأول. من الممكن أن نُقِيم العلاقة بين التعريفين بالقول إنه متى كانت واقعتان متزامنتين بالمعنى الأول، فإنا نستطيع دائما أن نجد إطارا مرجعيا تكونان فيه كذلك بالمعنى الثاني أيضا.

يبدو أن التعريف الأول لمصطلح "التزامن" هو الأقرب إلى الاستخدام فى حياتنا اليومية، لأن قضية ماإذا كانت واقعتان متزامنتين لا تعتمد فى حياتنا اليومية على الإطار المرجعي. لكن المصطلح فى كلا التعريفين النسبويين قد اكتسب دقة تفتقر إليها لغة حياتنا اليومية. كان على الفيزيائيين فى نظرية الكم أن يعلموا مبكرا أن مصطلحات الفيزياء الكلاسيكية إنما تصف الطبيعة بشكل غير دقيق، وأن تطبيقها محكوم بقوانين الكم، وأن علينا أن نكون إذن حذرين فى استعمالها. ولقد حاول الفيزيائيون فى نظرية النسبية أن يغيروا معنى كلمات الفيزياء الكلاسيكية ليجعلوا المصطلحات أكثر دقة بحيث تلائم الوضع الجديد فى الطبيعة.

أما بنية المكان والزمان التي كشفتها نظرية النسبية فقد كانت لها نتائج عديدة في أجزاء مختلفة من الفيزياء. فالديناميكا الكهربية للأجسام المتحركة يمكن أن تُشْتَق على الفور من مبدأ النسبية. وهذا المبدأ ذاته يمكن أن يصاغ في صورة قانون للطبيعة عام جدا يناسب ليس فقط الديناميكا الكهربائية والميكانيكا وإنما أيضا أي مجموعة من القوانين: تتخذ القوانين نفس الصورة في كل النظم المرجعية، التي تختلف عن بعضها بعضا فقط بسبب حركة انتقال منتظمة؛ كلها ثابتة أمام تحويل لورنتس.

ربما كانت أهم نتائج مبدأ النسبية هو القصور الذاتي للطاقة، أو تكافؤ الكتلة والطاقة. لما كانت سرعة الضوء هي السرعة القصوى التي لايمكن أبدا لأي جسم مادي أن يصلها، فمن السهل أن نرى أن تعجيل جسم يتحرك بالفعل بسرعة كبيرة سيكون أصعب من تعجيل جسم ساكن، لقد ازداد القصور الذاتي بزيادة طاقة الحركة. لكن أي نوع من الطاقة، على وجه العموم، سيسهم ـ تبعا لنظرية النسبية ـ في القصور الذاتي، نعني في الكتلة. وكتلة أي مقدار من الطاقة ليست سوى هذه الطاقة مقسومة على مربع سرعة الضوء. وعلى هذا فإن كل طاقة تحمل معها كتلة، لكن حتى الطاقة الهائلة لا تحمل إلا قدرا ضئيلا جدا من الكتلة. وهذا هو السبب في أن أحدا لم يكتشف العلاقة بين الطاقة والكتلة. يفقد قانونا حفظ الكتلة وحفظ الشحنة كلاهما صلاحيتهما وينضمان في قانون واحد يمكن أن نسميه قانون حفظ الطاقة أو الكتلة. عندما صيغت نظرية النسبية منذ خمسين عاما كان فرض تكافؤ الكتلة يبدو ثورة كاملة في الفيزياء، ولم يكن ثمة إلا قدرٌ ضئيل من الشواهد التجريبية لتعضيده، أما في أيامنا هذه فسنرى في الكثير من التجارب كيف يمكن تخليق الجسيمات الأولية من الطاقة الحركية، وكيف تفنى هذه الجسيمات لتشكل إشعاعا، وعلى هذا فإن التحول من الطاقة إلى الكتلة أو العكس لايقترح شيئا غير عادي. إن كمية الطاقة الضخمة التي تحرر في أي انفجار ذري ليست سوى إثبات علني مذهل على صحة معادلة آينشتين. لكنا قد نضيف هنا ملحوظة نقدية تاريخية.

كثيرا مانسمع أن الطاقات الهائلة للانفجارات الذرية إنما ترجع إلى تحول الكتلة إلى طاقة تحولاً مباشرا، وأن التنبؤ بهذه الطاقات لم يكن ممكنا إلا من خلال نظرية النسبية. لكن هذا في واقع الأمر سوء تفهم. إن القدر الهائل من الطاقة المتاحة في نواة الذرة كان معروفا منذ تجارب بيكريل وكوري ورذرفورد على الاضمحلال الإشعاعي. فكل جسم يضمحل (كالراديوم مثلا) ينتج من الطاقة مايصل إلى نحو مليون ضعف الطاقة التي تتحرر في عملية كيمياوية

على نفس المقدار من المادة. ومصدر الطاقة فى عملية انشطار اليورانيوم هو بالضبط مصدرها فى اضمحلال ألفا بعنصر الراديوم - نقصد التنافر الكهروستاتيكى للجزءين اللذين تنشطر إليهما الذرة. تأتى طاقة الانفجار الذرى مباشرة عن هذا المصدر، لاعن تحول الكتلة الى طاقة. إن عدد الجسيمات الأولية ذات كتلة السكون المتناهية لاينقص خلال الانفجار. لكن من الصحيح أن الكتلة تفصح عن طاقات ربط هذه الجسيمات فى نواة الذرة، ومن ثم فإن تحرر الطاقة يرتبط أيضا، فى هذا الشكل غير المباشر، بالتغيرات فى كتل النوايا. لقد أثار تكافؤ الكتلة والطاقة - بجانب أهميته فى الفيزياء - مشاكل تختص بقضايا فلسفية قديمة جدا. ثمة قضية نجدها فى نُظُم فلسفية عديدة قديمة، تقول بأن الجوهر أو المادة لايمكن أن تُحَطم. لكنا سنجد فى الفيزياء الحديثة الكثيرَ من التجارب وقد أوضحت أنه من الممكن أن تفنى جسيمات أولية كالبوزيترونات والإلكترونات، وأن تتحول إلى إشعاع. فهل هذا يعنى أن التجارب الحديثة قد أثبتت بطلان النظم الفلسفية القديمة وأن الحجج التى قدمتها هذه النظم كانت مضللة؟

سيكون هذا بالتأكيد قرارا متهوراً ليس له مايبرره، إذ لايمكن ببساطة أن نطابق مصطلحى "الجوهر" و "المادة" فى الفلسفة القديمة أو القروسطية بمصطلح "الكتلة" فى الفيزيقا الحديثة. فإذا أردنا أن نعبر عن خبرتنا الحديثة بلغة الفلسفات القديمة فلنا أن نعتبر الكتلة و الطاقة صورتين مختلفتين من صور نفس "الجوهر"، وبذا نحفظ فكرة الجوهر الذى لايتحطم.

يصعب فى الحق أن نقول إننا نكسب كثيرا إذا عبرنا عن معرفتنا الحديثة بلغة قديمة. لقد تشكلت النظم الفلسفية فى الماضى عن كم المعرفة الذى أُتيح آنذاك وعن أساليب الفكر التى أدت إليها مثل هذه المعرفة. والمؤكد أننا لانتوقع أن يتنبأ الفلاسفة منذ بضعة قرون مضت بتطور الفيزياء الحديثة أو نظرية النسبية. وعلى هذا فإنا لانتصور أنه من الممكن أن يتكيف أىٌ من المفاهيم التى طرقها الفلاسفة فى عملية التوضيح العقلى منذ زمن بعيد، بحيث يلائم الظواهر التى لايمكن ملاحظتها الا بالأدوات التقنية المعقدة التى ظهرت فى زماننا هذا.

لكن، قبل أن نمضى الى مناقشة التضمينات الفلسفية لنظرية النسبية، علينا ن نَصِف أولاً ماجَدَّ عليها من تطورات.

لقد أجهزت نظرية النسبية كما ذكرنا على جوهر "الأثير" الافتراضى، الذى لعب دورا هاما فى المناقشات الأولى عن نظريات ماكسويل بالقرن التاسع عشر. يُعَبَّر عن هذا أحيانا بالقول

إننا قد تخلينا عن فكرة الفضاء الخالص. لكن مثل هذه الجملة لابد ألاَّ تقبل إلاَّ بحذر بالغ. صحيح أن المرء لايستطيع أن يشير إلى إطار مرجعي خاص يكون فيه جوهر الأثير فى حالة استقرار ويستحق اسم "الفضاء الخالص"، لكن من الخطأ أن نقول إن الفضاء قد فقد الآن كل خصائصه الفيزيقية، فمازالت معادلات الحركة للأجسام المادية أو المجالات تتخذ صورة فى نظام "عادى" مرجعي تختلف عن أخرى فى نظام آخر يدور أو يتحرك حركة غير منتظمة بالنسبة للنظام "العادى". ووجود قوى الطرد المركزية فى النظم الدوارة يثبت - فيما يهم نظرية النسبية لعام ١٩٠٥ ولعام ١٩٠٦ - يثبت وجود خصائص فيزيقية للفضاء تسمح بالتمييز بين نظام دوار وآخر غير دوار.

قد لايبدو هذا مُرْضيا من احدى وجهات النظر الفلسفية، الوجهة التى يُفَضل فيها أن نمنح الخصائص الفيزيقية فقط للكيانات الفيزيائية مثل الأجسام المادية أو المجالات، وليس للفضاء الفارغ. لكنا سنجد، بالنسبة لنظرية العمليات الكهرومغنطيسية أو الحركات الميكانيكية، أن وجود الخصائص الفيزيقية هذه للفضاء الفارغ ليس إلا وصفا لحقائق لا نزاع فيها.

ولقد قاد تحليل دقيق لهذا الوضع تم بعد نحو عشرين عاما - عام ١٩١٦ - قاد آينشتين إلى توسيع هام جدا لنظرية النسبية يطلق عليه عادة اسم نظرية "النسبية العامة". وقبل أن نمضي إلى وصف الأفكار الرئيسية لهذه النظرية الجديدة قد يكون من المفيد أن نذكر بضع كلمات عن درجة اليقين فى صحة جزءى نظرية النسبية هذين. ترتكز نظرية عام ١٩٠٥ و ١٩٠٦ على عدد كبير جدا من الحقائق الموطدة: على تجارب مايكلسون وموورلي والكثير غيرها مما يشبهها، على تكافؤ الكتلة والطاقة فى العمليات الاشعاعية التى لاتعد ولا تحصى، على اعتماد عمر الأجسام المشعة على سرعتها ... إلخ. وعلى هذا فإن هذه النظرية تنتمى إلى الأساس المتين للفيزيقا الحديثة، ولايمكن فى وضعنا الحالى أن نشك فيها.

والشواهد التجريبية بالنسبة لنظرية النسبية أقل اقناعا بكثير، لأن مادة البحث نادرة للغاية. فنحن لن نجد إلا عددا محدودا من الملاحظات الفلكية التى تسمح بالتحقق من صحة الفروض. وعلى هذا فإن هذه النظرية أكثر "فرضية" من الأولى.

أما حجر الزاوية فى نظرية النسبية العامة فهى العلاقة ما بين القصور الذاتى والجاذبية.

أوضحت القياسات الدقيقة جدا أن كتلة الجسم كمصدر للجاذبية تتناسب بالضبط مع الكتلة كمقياس للقصور الذاتي للجسم. وأبداً لم يُظْهر حتى أدق القياسات أىّ انحراف من هذا القانون. فإذا كان القانون صحيحا على وجه العموم، فمن الممكن أن توضع قوى الجاذبية على نفس مستوى قوى الطرد المركزى أو غيرها من القوى الأخرى، التى تنتج كرد فعل للقصور الذاتي. ولما كان من اللازم أن تعتبر قوى الطرد المركزى ناشئةً عن الخصائص الفيزيائية للفضاء الفارغ، كما ذكرنا، فقد تحول آينشتين إلى الفرض بأن قوى الجاذبية أيضا تنشأ عن خصائص الفضاء الفارغ. وكانت هذه خطوة هامة تطلبت على الفور خطوة تالية لها نفس الأهمية. نحن نعرف أن قوى الجاذبية تنتج عن الكتلة، فإذا ما كانت الجاذبية مرتبطة بخصائص الفضاء، فإن خصائص الفضاء هذه لابد أن تنتج عن الكتل أو تتأثر بها. وقوى الطرد المركزى فى أى نظام دوار لابد أن تنشأ عن دوران كتل (بالنسبة للنظام) قد تكون بعيدة جدا.

ولتنفيذ البرنامج الذى حددته هذه الجمل القليلة، كان على آينشتين أن يربط الأفكار الفيزيقية التحتية بالمخطط الرياضي للهندسة العامة التي طورها رايمان. فلما كانت خصائص الفضاء تتغير على مايبدو مع مجالات الجاذبية، فمن الضرورى أن تقارن هندستها بالهندسة على الأسطح المنحنية حيث يستبدل بخط الهندسة الاقليدية المستقيم خطٌ جيوديسي (وهو خطُ أقصر المسافات) وحيث يتغير الانحناء بصورة مستمرة. تمكن آينشتين فى النهاية من تقديم صياغة رياضية للارتباط مابين توزيع الكتل والمعالم المُحَدَّدة بالهندسة. ولقد مَثَّلت هذه النظرية الحقائق الشائعة عن الجاذبية، فهى تقريب ممتاز جدا، يطابق النظرية التقليدية للجاذبية، بل ويتنبأ بعدد من الظواهر المشوقة التي كانت بالضبط على حدود المقياسية. كان هناك مثلا فعل الجاذبية على الضوء. عندما ينبعث ضوء أحادى اللون من نجم ثقيل، فإن كمات الضوء تفقد طاقة وهي تتحرك بعيدا خلال جاذبية النجم، ويتبع ذلك "إزاحة نحو الأحمر" لخط الطيف المنبعث. وليس ثمة حتى الآن من شواهد تجريبية لهذه الإزاحة نحو الأحمر، كما بينت بوضوح مناقشات تجارب فروينداليخ. لكن سيكون من السابق لأوانه أيضا أن نقول إن التجارب تناقض توقعات نظرية آينشتين. فشعاع الضوء الذى يمر قرب الشمس يجب أن ينحرف بسبب مجال جاذبيتها. ولقد رصد فروينداليخ تجريبيا هذا الانحراف وكان فى النطاق الصحيح. أما موضوع موافقة الانحراف من الناحية الكمية للقيمة التي تنبأت بها نظرية آينشتين فهو أمر لم يتضح بعد. ويبدو أن أفضل الشواهد على صحة نظرية النسبية العامة هو تقدم الحركة المدارية لكوكب عطارد، إذ الواضح أنه يتفق جيدا مع القيمة التى تتنبأ بها النظرية.

وبالرغم من أن الأساس التجريبي للنسبية العامة لايزال ضيقا نوعا ما، فإن النظرية تحوى أفكارا ذات أهمية قصوى. فمنذ عصر الرياضيين الاغريق وحتى القرن التاسع عشر، كانت الهندسة الإقليدية تعتبر أمراً مُثْبَتا، كانت بديهيات إقليدس تعتبر الأساس بالنسبة لأى هندسة رياضية، الأساس الذى لايمكن الشك فيه. ثم، وفي القرن التاسع عشر، إذا بالرياضيين بولياى ولُباشفيسكي، وجاوس ورايمان يكتشفون أن ثمة هندسات أخرى يمكن ابتكارها وتطويرها لتكون لها نفس الدقة التى تميز هندسة اقليدس. وعلى هذا تحولت قضية أى الهندسات هو الصحيح لتصبح قضية تجريبية. ولم يأخذ الفيزيائيون القضية حقا كموضوع للدراسة إلا من خلال أعمال آينشتين. أما الهندسة موضوع النقاش فى نظرية النسبية العامة فلم تكن تختص بالفضاء ثلاثي الأبعاد وحده، وإنما أيضا بالمُعَقَّد رباعى الأبعاد الذى يتألف من الفضاء والزمن. وطدت النظرية علاقة بين الهندسة فى هذا المعقد وبين توزيع الكتل فى العالم. وعلى هذا، فقد أثارت هذه النظرية - فى صورة جديد ة تماما - أثارت القضايا القديمة لسلوك الفضاء والزمان فى الأبعاد الكبرى. كان فى مقدورها أن تقترح إجابات محتملة يمكن التحقق منها بالملاحظة.

وبناء على ذلك أُعيدت للدراسة مواضيعُ فلسفية قديمة جدا كانت تشغل ذهن الانسان منذ أقدم أطوار الفلسفة والعلم. هل الفضاء متناه أو لامتناهى؟ ماذا كان هناك قبل بدء الزمن؟ ما الذى سيحدث عند نهاية الزمن؟ أم ترى ليس ثمة بداية له ولا نهاية؟ وجدت هذه الأسئلة إجابات مختلفة فى الفلسفات والأديان المختلفة. ففى فلسفة أرسطو مثلا سنجد أن الفضاء الكلى للكون متناه (إن يكن قابلا للقسمة اللانهائية). كان الفضاء ناشئا عن امتداد الأجسام، كان مرتبطا بهذه الأجسام. فحيث لا توجد أجسام لايوجد فضاء. الكون يتألف من الأرض والشمس والنجوم: عدد متناه من الأجرام. وخلف نطاق النجوم ليس ثمة فضاء، وعلى هذا فإن حيز الكون متناه.

أما فى فلسفة كانط فقد كان هذا السؤال ينتمى إلى ما أسماه "النقائض" - الأسئلة التى لايمكن الاجابة عليها، إذ فيها تقود حجتان مختلفتان إلى نتائج متضادة. فالفضاء لا يمكن أن يكون متناهيا لأننا لا نستطيع أن نتخيل وجود نهاية للفضاء، فحيثما وصلنا يمكننا دائما أن نتصور أن فى مقدورنا أن نمضى أبعد. وفى نفس الوقت فإن الفضاء لا يمكن أن يكون لا نهائيا لأن الفضاء شىء يمكننا تخيله (وإلا لما صيغت كلمة "فضاء") وليس فى مقدورنا أن

تتخيل فضاء لانهائيا. والواقع أن كانط لم يذكر هذه الحجة حرفيا هكذا، (بالنسبة للقضية الأخيرة). وجملة "الفضاء لامتناهى" تعنى بالنسبة لنا شيئا سلبيا، فنحن لا نستطيع أن نصل إلى نهاية للفضاء، أما بالنسبة لكانط فكانت تعنى أن لانهائية الفضاء هى بالفعل من المعطيات، أنها "توجد" بمعنى يصعب علينا أن نعبر عنه. وكانت النتيجة التى توصل إليها كانط: إن الاجابة العقلية للسؤال عن تناهى الفضاء أو لاتناهيه هى أمر مستحيل لأن الكون بأكمله لايمكن أن يكون موضوع تجربتنا.

وسنقابل موقفا مشابها بالنسبة لمشكلة لاتناهى الزمن. ففى "اعترافات" القديس أوغسطين مثلا، اتخذ هذا السؤال الصورة التالية: "ماذا كان الإله يفعل قبل أن يخلق العالم؟". لم يقتنع أوغسطين بالنكتة: "كان مشغولا بتجهيز جهنم كى تستقبل كُلٌ من يسأل مثل هذه الأسئلة السخيفة!". قال إن هذه اجابةٌ رخيصة جدا، ثم حاول أن يعطى تحليلا عقليا للمشكلة. فالزمن يمضى بالنسبة لنا وحدنا، إننا نتوقعه كمستقبل، وهو يمضى كلحظة حاضرة، ونتذكره كماض. لكن الإله ليس فى الزمن. إن ألف عام بالنسبة له يوم، واليوم عنده ألف عام. لقد خُلق الزمن مع العالم، انه ينتمى الى العالم، ومن ثم فالزمن لم يوجد قبل أن يوجد العالم. أما بالنسبة للإله فإن كل مجرى الكون قد أقيم فى الحال. لم يكن ثمة زمان قبل أن يَخْلِق الإلهُ العالم. والواضح أن كلمة "يخلق" فى مثل هذه الجمل تثير على الفور كُل الصعوبات الجوهرية. فهذه الكلمة كما تُفهم عادة تعنى أن شيئا قد بزغ فى الوجود لم يكن موجودا قبلا، وهى فى هذا المعنى تفترض مسبقا مفهوم الزمن. وعلى هذا فمن المستحيل أن نُعَرّف بمصطلحات معقولة ماقد تعنيه جملة "لقد خلق الزمن". وهذه الحقيقة تذكرنا مرة أخرى بالدرس الذى طالما نوقش والذى علمتنا إياه الفيزياء الحديثة: إن كل لفظ أو مفهوم، مهما بدا واضحا، ليس له إلا مجال محدود من الاستعمالات.

يمكن فى نظرية النسبية العامة أن توضع هذه الأسئلة عن لانهائية الفضاء والزمان، وأن تُجاب جزئيا على أساس تجريبى. فإذا ما كانت النظرية قد وفرت العلاقة الصحيحة بين الهندسة رباعية الأبعاد فى الفضاء والزمان، وبين توزيع الكتل فى الكون، عندئذ فإن الملاحظات الفلكية عن توزيع المجرات فى الفضاء ستقدم المعلومات عن هندسة الكون ككل. يستطيع المرء أن يبنى "نماذج" للكون، صورا كونية، ثم يمكنه أن يقارن نتائجها بالحقائق التجريبية.

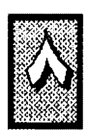
لايستطيع المرء بالنظر الى المعرفة الفلكية الحالية أن يميز بوضوح بين نماذج ممكنة عديدة. فقد يكون الفضاء الممتلىء بالكون متناهيا، وهذا لايعنى أن ثمة نهاية للكون فى مكان ما، إنما سيعنى أننا إذا ماتقدمنا فى الكون أكثر وأكثر في اتجاه واحد فسنصل فى النهاية إلى النقطة التى ابتدأنا منها. وهذا الوضع يشبه مايحدث فى الهندسة ثنائية الأبعاد على سطح الأرض: فإذا ابتدأنا من نقطة متجهين إلى الشرق، فسنصل فى النهاية إلى نفس النقطة من الغرب.

أما بالنسبة للزمن فثمة مايشبه بداية له. فالكثير من الملاحظات يشير إلى منشأ للكون منذ نحو أربعة بلايين عام، أو يبدو على الأقل أنها تشير إلى أن كل مادة الكون في ذلك الوقت كانت مركزة في فضاء أصغر بكثير وأنها انتشرت منه بسرعات مختلفة منذ ذلك التاريخ. وسنصل إلى نفس هذا الزمن (أربعة بلايين عام) فى الكثير من الملاحظات المختلفة (مثلا عمر النيازك، أو المعادن على الأرض... إلخ). وعلى هذا فسيغدو من الصعب أن نجد تفسيرا يختلف جذريا عن فكرة المنشأ هذه. فإذا كانت صحيحة فإنها ستعني أن مفهوم الزمن فيما وراء هذا الزمن ستكتنفه تغيرات جوهرية. وسنجد في الموقف الحالي للملاحظات الفلكية أن الأسئلة عن هندسة الزمكان الواسع لم تجد بعد اجابات لها أدنى حد من اليقين. وسيكون من المشوق جدا أن تجد هذه الأسئلة إجاباتها فى نهاية المطاف على أساس تجريبي صلب. إن الأساس التجريبي الذى ترتكز عليه حتى نظرية النسبية العامة لايزال إلى الآن ضئيلا جدا، ولابد أن تؤخذ على أنها أقل يقينا مما يسمى نظرية النسبية الخاصة التى يعبر عنها تحويل لورنتس.

وحتى لو لم نذكر البحوث الاضافية فى هذه النظرية الأخيرة فليس من شك فى أن نظرية النسبية قد غيرت كثيرا من نظرتنا إلى بنية الفضاء والزمان. ربما لم تكن طبيعةُ هذه التغيرات هى أكثر مناحيها إثارة، وإنما حقيقة أنها كانت ممكنة. إن بنية الفضاء والزمان التى عرّفها نيوتن كأساس لوصفه الرياضى للطبيعة، كانت بنية بسيطة متماسكة وتناظر كثيرا استخدام مفهومى الفضاء والزمان فى الحياة اليومية. كان التناظر فى الحق وثيقا حتى ليمكننا أن نعتبر أن تعريفات نيوتن هى الصياغة الرياضية الدقيقة لهذين المفهومين الشائعين. إننا نستطيع أن نرتب الوقائع فى الزمن دون النظر إلى موقعها فى الفضاء. كان هذا هو الأمر الطبيعى تماما قبل نظرية النسبية. لكنا نعرف الآن أن هذا الانطباع إنما تخلقه فى حياتنا اليومية حقيقةُ أن

سرعة الضوء تفوق بكثير جدا أىّ سرعة نقابلها فى الخبرة العملية. لكن أحدا لم يدرك بالطبع هذا القيد آنئذ. وحتى بعد أن عرفنا هذا القيد الآن، فما زال من الصعب أن نتخيل أن يعتمد ترتيب الوقائع على موقعها.

وجهت فلسفة كانط الانتباه فيما بعد إلى حقيقة أن مفهومى الفضاء والزمان ينتميان إلى علاقتنا بالطبيعة، لا إلى الطبيعة نفسها، أننا لا نستطيع وصف الطبيعة دون استخدام هذين المفهومين. ومن ثم فإن هذين المفهومين هما - بمعنى ما - من المفاهيم "القبلية". إنهما شرط وليسا نتيجة لخبرتنا. ولقد كان من المعتقد عموما أننا لا نستطيع أن نمسهما بخبرة جديدة. وعلى هذا بدت ضرورة التغيير مفاجأة عظمى. كانت هذه هى المرة الأولى التى اكتشف العلماء فيها الحاجة إلى الحذر البالغ عند تطبيق مفاهيم الحياة اليومية على الخبرة المصقولة للعلم التجريبى الحديث. إن الصياغة الدقيقة والمتماسكة لهذه المفاهيم فى اللغة الرياضية لميكانيكا نيوتن، أو تحليلها الدقيق فى فلسفة كانط، لم تقدم أدنى حماية ضد التحليل النقدى، التحليل الممكن من خلال قياسات غاية فى الدقة. أثبت هذا التحذير فيما بعد أهميته القصوى فى تطور الفيزياء الحديثة. والمؤكد أن تفهم نظرية الكم كان سيغدو أصعب لولا أن نجحت نظرية النسبية فى تحذير العلماء من الاستخدام غير المدقق لمفاهيم تؤخذ من الحياة اليومية أو من الفيزياء الكلاسيكية.



نقد تفسير كوبنهاجن لنظرية الكم - والاقتراحات المضادة له

قاد تفسير كوبنهاجن لنظرية الكم الفيزيائيين بعيدا عن الأفكار المادية البسيطة التى سادت العلوم الطبيعية بالقرن التاسع عشر. ولما كانت هذه الأفكار لم ترتبط فقط بالعلوم الطبيعية لتلك الحقبة، وإنما قد وَجَدت تحليلا منهجيا فى بعض النظم الفلسفية، كما تغلغلت عميقا حتى فى ذهن رجل الشارع العادى، فمن اليسير أن نتفهم جيدا لماذا جرت المحاولات لانتقاد تفسير كوبنهاجن ولإحلال تفسير محله يتفق أكثر مع مفاهيم الفيزياء الكلاسيكية أو الفلسفة المادية.

يمكن أن تقسم هذه المحاولات إلى مجاميع ثلاث. لم ترغب المجموعة الأولى فى تغيير تفسير كوبنهاجن بالنسبة لتنبؤات النتائج التجريبية، وإنما حاولت أن تغير لغة هذا التفسير حتى تصبح أكثر شبها بالفيزياء الكلاسيكية، بمعنى آخر، لقد حاولت أن تغير الفلسفة دون أن تغير الفيزياء. ثمة عدد من أبحاث هذه المجموعة قد قَصَرَت اتفاقها مع التنبؤات التجريبية لتفسير كوبنهاجن، على التجارب التى أجريت حتى ذلك الوقت أو على تلك التى تنتمى إلى الفيزياء الإلكترونية العادية.

أدركت المجموعة الثانية أن تفسير كوبنهاجن هو التفسير الوحيد الملائم، إذا ما كانت النتائج التجريبية فى كل مكان تتفق مع تنبؤات هذا التفسير. وعلى هذا فقد حاولت هذه المجموعة فى أبحاثها أن تغير نظرية الكم بعض الشىء فى بعض النقاط الحرجة.

أما المجموعة الثالثة والأخيرة فقد عَبَّرت عن استيائها العام من نتائج تفسير كوبنهاجن، ولا سيما من نتائج فلسفته، دون أن تقدم اقتراحات مضادة محددة. تنتمى أبحاث أينشتين وفون لاوه وشرودنجر إلى هذه المجموعة الثالثة التى كانت تاريخيا هى أولى المجاميع الثلاث.

على أن كل معارضى تفسير كوبنهاجن كانوا يتفقون فى نقطة واحدة. فهم يفضلون العودة إلى مفهوم الواقع بالفيزيقا الكلاسيكية، أوإلى أنطولوجيا المادية، إذا استعملنا مصطلحات أكثر عمومية. هم يفضلون العودة إلى فكرة عالم حقيقى موضوعى توجد أصغر أجزائه موضوعياً، بنفس المعنى الذى تكون به الأحجار والأشجار كذلك، لا تعتمد على مراقبتنا أو عدم مراقبتنا لها.

على أن هذا مستحيل، أو على الأقل ليس ممكنا تماما، بسبب طبيعة الظواهر الذرية، كما سبق وَبَيَّنَّا فى بعض الفصول السابقة. إن مهمتنا ليست صياغة مانتمنى أن تكون عليه الظواهر الذرية. مهمتنا تنحصر في تفهمها لا أكثر.

فإذا قمنا بتحليل أبحاث المجموعة الأولى، فمن الضرورى أن ندرك من البداية أن تفسيراتهم لا يمكن أن ندحضها بالتجربة، فهى دائما تكرر تفسير كوبنهاجن بلغة مختلفة، بل ولقد يمكن حتى أن نقول - من وجهة النظر الوضعية الدقيقة - إننا هنا لا نهتم باقتراحات مضادة لتفسير كوبنهاجن، وإنما بمجرد تكرار له فى لغة أخرى. وعلى هذا فليس أمامنا هنا إلا أن نناقش مدى ملاءمة هذه اللغة. هناك مجموعة من الاقتراحات المضادة تعمل على فكرة "المقاييس الخفية". فلما كانت القوانين الكماتية - النظرية تحدد على وجه العموم نتائج التجربة إنما فقط بشكل احصائي، فقد ننزع من وجهة النظر الكلاسيكية إلى أن نتصور وجود مقاييس خفية تفلت من الملاحظة فى أية تجربة عادية، ولكنها تحدّد نتيجة التجربة بالطريقة العلّمية العادية. وعلى هذا تحاول بعض الأبحاث أن تبنى مثل هذه المقاييس داخل هيكل ميكانيكا الكم.

وعلى هذا الخط طرح بوهم - مثلا - اقتراحا مضادا لتفسير كوبنهاجن، وقد تبناه مؤخرا - ولحد ما - ده برولي أيضا. ولقد تم بالتفصيل شرح تفسير بوهم، وعلى هذا فقد يخدم هنا كأساس للمناقشة. اعتبر بوهم الجسيمات بنى "واقعية موضوعية"، مثل الكتل النُّقْطية فى ميكانيكا نيوتن. والموجات فى فضاء التشكيل هى فى تفسيره أيضا "واقعية موضوعية"، مثل المجالات الكهربية. وفراغ التشكيل هذا فراغ متعدد الأبعاد يشير إلى الاحداثيات المختلفة لكل الجسيمات التى تنتمى للنظام. هنا نواجه الصعوبة الأولى: ماذا نعنى بقولنا إن الموجات فى فراغ التشكيل "واقعية"؟ هذا الفراغ فراغ تجريدى جدا. وكلمة "واقعى" (باللغة الانجليزية) أصلها كلمة لاتينيةتعنى "الشىء"، إنما الأشياء فى الفضاء الثلاثى الأبعاد العادى، وليس فى

الفضاء التشكيلي التجريدي. ولقد نقول إن الموجات في فضاء التشكيل "موضوعية" إذا كنا نريد القول إنها لا تعتمد على المراقب، لكن يصعب أن نسميها "واقعية" إلا إذا كنا مستعدين لتغيير معنى الكلمة. يمضي بوهم ليعرّف الخطوط العمودية على أسطح الطور الموجي الثابت بأنها المدارات الممكنة للجسيمات. أما أي من هذه الخطوط سيكون هو المدار "الواقعي" فأمر يعتمد عنده على تاريخ النظام وعلى جهاز القياس، ولا يمكن أن نحدده دون أن نعرف عن النظام وجهاز القياس أكثر مما يمكننا بالعقل معرفته. يحتوي هذا التاريخ في الواقع على المقاييس الخفية، "المدار الواقعي" قبل أن تبدأ التجربة.

من بين نتائج هذا التفسير ـ كما يؤكد باولي ـ أن الإلكترونات في الحالات الأرضية للكثير من الذرات لابد أن تكون ساكنة، أي لا تقوم بأي حركة مدارية حول نواة الذرة. يبدو هذا مناقضا للتجارب، لأن قياسات سرعة الإلكترونات في الحالة الأرضية (عن طريق ظاهرة كومبتون مثلا) تبين دائما توزيعَ سرعاتٍ للحالة الأرضية يتفق مع قواعد ميكانيكا الكم. لكن بوهم يستطيع هنا أن يجادل بالقول إن القوانين العادية لم تعد صالحة لتقدير القياس. هويوافق على أن التقدير العادي للقياس سيقود حقا إلى توزيع سرعات، لكنا إذا وضعنا نظرية الكم في الاعتبار بالنسبة لآلة القياس فمن الممكن أن نقبل القول إن الإلكترونات "واقعيا" تكون ساكنة دائما. في قياسات موقع الجسيم، يأخذ بوهم التفسير العادي للتجارب على أنه صحيح، لكنه يرفضه في قياسات السرعة. بهذا الثمن يجد بوهم نفسه قادرا على أن يجزم "بأننا لا نحتاج أن نهجر الوصف الدقيق العقلي الموضوعي للنظم المفردة في عالم نظرية الكم". على أن هذا الوصف الموضوعي يفصح عن نفسه كشكل من "بنية ايديولوجية فائقة" تكاد لاتتعلق بالواقع الفيزيقي المباشر، لأن المقاييس الخفية في تفسير بوهم هي من نوع لايمكن وجوده في وصف العمليات الواقعية، إذا بقيت نظرية الكم دون تغيير.

ولكي يتجنب بوهم هذه الصعوبة فقد أعرب في الحقيقة عن أمله في أن تلعب المقاييس الخفية في تجارب المستقبل دورا ماديا في مجال الجسيمات الأولية، ومن ثم يظهر خطأ نظرية الكم. عبر بوهر عن هذه الآراء الغريبة بقوله إنها تشبه في تركيبها هذه الجملة: "إننا نأمل أن يتضح يوما ما أن ٢ × ٢ = ٥، فمثل هذه النتيجة ستفيدنا كثيرا في أمور المال". والواضح أن تحقيق آمال بوهم لن يهدم فقط نظرية الكم وإنما أيضا تفسير بوهم. طبيعي أن يلزمنا في نفس الوقت أن نؤكد أن التشبيه الذي ذكرناه ـ برغم كماله ـ لايمثل حجة دامغة منطقية ضد

تغيير مستقبلى محتمل لنظرية الكم بالطريقة التى اقترحها بوهم، فليس من المستحيل أن نتصور مثلا أن توسيع المنطق الرياضي قد يعطي معنى معينا لجملة تقول إن ٢ × ٢ = ٥ فى حالات استثنائية، بل ومن المحتمل أن تكون لهذه الرياضة الموسعة استخداماتها فى مجال الاقتصاد. غير أننا مقتنعون - حتى دون أساس منطقي مقنع - أن مثل هذه التغيرات فى الرياضة لن تفيدنا فى الاقتصاد. وعلى هذا فمن الصعب أن نفهم كيف يمكن أن تستخدم، فى وصف الظواهر الفيزيقية، هذه الاقتراحاتُ الرياضية التى تقول أعمال بوهم إنها تحقق آماله.

فإذا أهملنا هذا التعديل المحتمل لنظرية الكم، فإن لغة بوهم، كما أوضحنا، لا تقول عن الفيزيقا شيئا يختلف عما يقوله تفسير كوبنهاجن. يبقي إذن السؤال عن صلاحية هذه اللغة. بجانب الاعتراض الذى ذكرناه، بأننا عندما نتحدث عن مدارات الجسيم فإنما نعالج "بنية أيديولوجية فائقة" غير ضرورية، يجب أن نذكر بخاصة أن لغة بوهم تحطم السيمترية بين الموقع والسرعة، المفهومةً ضمنا في نظرية الكم. يقبل بوهم قياسات الموقع بالتفسير العادى، لكنه لا يقبله بالنسبة لقياسات السرعة وكمية الحركة. ولما كانت الخصائص السيمترية تشكل دائما أهم خصائص أية نظرية، فمن الصعب أن نرى مانكسبه من اغفالها فى اللغة المناظرة. وعلى هذا الأساس لا يمكننا أن نعتبر اقتراح بوهم المضاد لتفسير كوبنهاجن بمثابة تحسين.

من الممكن إثارة اعتراض مماثل - فى صورة مختلفة بعض الشيء - ضد التفسير الاحصائى الذى قدمه بوب و (على خَطٍّ يختلف قليلا) فينيس. عالج بوب خلق وفناء الجسيم على أنهما العملية الجوهرية لنظرية الكم. فالجسيم "واقعي" بالمعني الكلاسيكي للكلمة، بالمعنى الانطولوجى المادى، أما قوانين نظرية الكم فقد اعتبرت حالة خاصة من احصاءات التلازم لوقائع الخلق والفناء هذه. وهذا التفسير - الذى يحوى الكثير المثير من الملاحظات على القوانين الرياضية لنظرية الكم - يمكن تحقيقه بطريقة تقود بالضبط (بالنسبة للنتائج الفيزيقية) إلى نفس نتائج تفسير كوبنهاجن. هو إذن - بالمعنى الوضعى - تفسير مساو فى الشكل لتفسير بوهم. لكنه يحطم - فى لغته - السيمترية بين الجسيمات والموجات، تلك السيمترية التى تعتبر ملمحا مميزا للبرنامج الرياضى لنظرية الكم. أوضح جوردان وكلاين وفيجنر منذ عام ١٩٢٨ أنه من الممكن تفسير البرنامج الرياضى ليس فقط كتَكْميَةٍ لحركة الجسيم وانما أيضا كتكمية لموجات المادة ثلاثية الأبعاد. وعلى هذا فليس من سبب يدعونا أن نعتبر موجات المادة هذه أقل

واقعية من الجسيمات. من الممكن أن نكفل السيمترية بين الموجات والجسيمات فى تفسير بوب إذا نحن فقط طورنا احصاءات الارتباط المناظرة لموجات المادة فى المكان والزمان أيضا، وإذا تركنا قضية اعتبار ما إذا كانت الجسيمات أو الموجات واقعا "حقيقيا"، قضية مفتوحة.

سيقودنا الافتراض بأن الجسيمات واقعية بالمعنى الأنطولوجى المادى، سيقودنا دائما إلى أن نعتبر الانحرافات من مبدأ اللامحققية انحرافات ممكنة "جوهريا". يقول فينيس على سبيل المثال "إن وجود مبدأ اللامحققية (والذى ربطه هو بعلاقات احصائية خاصة) لا يجعل القياس المتزامن للمكان والسرعة، بدقة تحكمية، أمرا مستحيلا". على أن فينيس لم يذكر كيف يمكن القيام بمثل هذه القياسات عمليا. وعلى هذا تبقى آراؤه مجرد رياضيات بحتة.

أما فايتسيل ـ الذى تشبه اقتراحاتهُ المضادة لتفسير كوبنهاجن اقتراحاتِ بوهم وفينيس ـ فقد ربط "المقاييس الخفية" بجسيم من نوع جديد ابتكره خصيصا وأطلق عليه اسم "زيرون"، وهذا جسيم لايمكن ملاحظته. غير أن هذا المفهوم يقع فى خطر أن يشتِّتَ التفاعلُ بين الجسيمات الحقيقية والزيرونات، الطاقةَ بين العديد من درجات حرية مجال الزيرون، حتى لتغدو كل الديناميكا الحرارية تشوشا كاملا. ولم يفسر فايتسيل كيف يأمل أن يتجنب هذا الخطر.

ربما أمكننا الوصول إلى أفضل تعريف لوجهة النظر بكل المنشورات التى ذكرت حتى الآن، إذا نحن استدعينا مناقشة مشابهة تتعلق بنظرية النسبية الخاصة. فكل من لم يقتنع برفض آينشتين للأثير وللفضاء المطلق والزمن المطلق، يمكنه أن يجادل كما يلى: إن نظرية النسبية الخاصة لم تُثبت على الإطلاق عدم وجود الفضاء المطلق والزمن المطلق. إن كل ما أوضحته هو أن الفضاء الحق والزمن الحق لايحدثان مباشرة فى أية تجربة عادية. لكنا اذا أخذنا بالشكل الصحيح هذا الوجه من أوجه قوانين الطبيعة، فأدخلنا الأزمنة "الظاهرية" الصحيحة إلى النظم المتحركة النظيرة، فلن نجد حجة ضد افتراض الفضاء المطلق. بل ولقد يكون من الملائم أن نفترض أن مركز جاذبية مجرتنا يوجد فى حالة سكون فى فضاء مطلق (أو هكذا تقريبا). ولقد يضيف ناقد نظرية النسبية الخاصة أننا قد نأمل أن تسمح القياسات فى المستقبل بتعريف غير غامض للفضاء المطلق (نعنى "للمقاييس الخفية" بنظرية النسبية) لتُنْقَض بذلك نظرية النسبية الخاصة.

من الممكن أن نرى فورا أن هذه الحجة لايمكن أن تدحض بالتجربة، لأنها لا تقدم تقارير تختلف عن تقارير نظرية النسبية الخاصة. لكن هذا التفسير باللغة التى استخدمها سيحطم خاصية السيمترية الحاسمة للنظرية نقصد لا تَغَيُّرَ لورنتس، ومن ثم فمن الضرورى أن نعتبرها غير ملائمة.

والتشبه بنظرية الكم واضح. فقوانين نظرية الكم تقول بأن "المقاييس الخفية"، الملفقة خصيصا لايمكن أن تلحظ. تحطم إذن الخصائص السيمترية الحاسمة إذا ما أدخلنا المقاييس الخفية ككيان خيالى الى تفسير النظرية.

لكن أعمال بلوشنزيف وألكزندروف تختلف تماما فى عرضها للمشكلة عما ناقشناه قبلا. فهذان العالمان قد حددا أهدافهما بوضوح ومنذ البداية ضد تفسير كوبنهاجن، فى الناحية الفلسفية من المشكلة. أما فيزياء التفسير فقد قبلاها دون تحفظ.

غير أن الصورة الظاهرية للهجوم كانت أكثر عنفا. كتب بلوشنزيف فى مقدمته يقول: "من بين الاتجاهات المثالية المختلفة فى الفيزياء سنجد مدرسة كوبنهاجن هى الأكثر رجعية. ولقد خصصت هذه المقالة لأكشف القناع عن التأملات المثالية واللاأدرية لهذه المدرسة فى المشاكل الأساسية لفيزياء الكم". إن فظاظة الهجوم تبين أننا لا نتعامل هنا مع العلم وحده، وإنما أيضا مع إيمان عقائدى. أما الهدف فقد عبَّر عنه فى النهاية باقتباس من عمل للينين: "مهما كانت عظمة تحويل الأثير الذى لايوزن إلى مادة توزن (من وجهة نظر العقل البشرى العام)، مهما كانت غرابة افتقار الإلكترونات إلى كتلة غير الكتلة الكهرومغنطيسية، مهما كان الشذوذ فى اقتصار الحركة الميكانيكية على حقل الظواهر الطبيعية وحدها وخضوعها للقوانين الأعمق للظواهر الكهرومغنطيسية - فإن هذا كله ليس سوى إثبات للجدلية المادية". وهذه الجملة تجعل من مناقشة بلوشنزيف لموضوع علاقة نظرية الكم بفلسفة الجدلية المادية، أقل إثارة لأنها تحط من مرتبتها إلى مرتبة محاكمة عُرف الحكم فيها قبل بدء المحاكمة. على أنه من المهم أن نوضح الحجج التى قدمها بلوشنزيف وألكزندروف.

هنا، حيث المهمة هى إنقاذ الأنطولوجيا المادية، سنجد الهجوم وقد وجه أساسا إلى وجود المراقب فى تفهم نظرية الكم. كتب ألكزندروف يقول: "وعلى هذا فلابد لنا أن نفهم أن (نتيجة القياس) فى نظرية الكم ليست إلا الأثر الموضوعى للتفاعل بين الإلكترون والموضوع. لابد أن

نتجنب ذكر المراقب، وعلينا أن نعالج الظروف الموضوعية والآثار الموضوعية. إن المقدار الفيزيائي خصيصة موضوعية للظاهرة، وليس نتيجة للملاحظة". ودالة الموجة في فضاء التشكيل، عند ألكزندروف، تميز الحالة الموضوعية للإلكترون.

أغفل ألكزندروف في عرضه حقيقة أن الصورية في نظرية الكم لا تسمح بنفس درجة التموضع الموجودة بالفيزياء الكلاسيكية. وعلى سبيل المثال، فإذا نحن نظرنا إلى التفاعل بين نظام ما وبين آلة القياس ثم عالجناه ككل تبعا لميكانيكا الكم، وإذا نظرنا إليهما سويا وكأنهما منفصلان عن بقية العالم، عندئذ لن تؤدى صورية نظرية الكم بالضرورة إلى نتيجة صريحة لا لبس فيها، فى لا تؤدى مثلا إلى اسوداد اللوحة الفوتوغرافية في نقطة بعينها. فإذا أردنا أن ننقذ "الأثر الموضوعي" لألكزندروف بالقول إن اللوحة تسودُّ "في الواقع" عند نقطة معينة بعد التفاعل، فسيكون الرد أننا لم نعد نطبق هنا المعالجة الكماتية الميكانيكية للنظام المغلق المكون من الإلكترون وآلة القياس واللوحة. إن الخصيصة "الواقعية" للحدث التي يمكن وصفها بلغة مفاهيم الحياة اليومية هي التي لا تتضمنها الصورية الرياضية لنظرية الكم، وهي التي تظهر في تفسير كوبنهاجن عن طريق إدخال المراقب. الواضح بالطبع أنه لا يصح أن نسيء تفهم ادخال المراقب ليعني أننا سندخل ملامح ذاتية إلى وصف الطبيعة. إنما ستكون مهمة المراقب هي تسجيل القرارات، نقصد العمليات في الفضاء والزمن، ولا يهم ما إذا كان المراقب جهازا أو انسانا. لكن عملية التسجيل (ونعنى تحول "الممكن" إلى "الواقعي") هي عملية ضرورية تماما هنا ولا يمكن حذفها من تفسير نظرية الكم. وهنا سنجد أن نظرية الكم ترتبط جوهريا بالثرموديناميكا، من ناحية أن فعل المراقبة هو بطبيعته عملية لا تُعكَس. فمن خلال مثل هذه العمليات اللاعكوسة وحدها يمكن أن تربط صورية نظرية الكم برباط وثيق مع الأحداث الواقعية في المكان والزمان. وفوق هذا فإن اللاعكوسية ـ إذا ما طرحت في التمثيل الرياضي للظواهر ـ هى نتيجةٌ لمعرفة المراقب غير الكاملة بالنظام، وهي بهذا غير "موضوعية" تماما.

أما صياغة بلوشنزيف للمادة فتختلف قليلاً عنها عند ألكزندروف: "في ميكانيكا الكم نحن لا نصف حال الجسيم ذاته وإنما حقيقة أن الجسيم ينتمي إلى هذا التجمع الاحصائي أو ذاك. وهذا الانتماء موضوعي تماما ولايعتمد على أية تقارير للمراقب". على أن هذه الصياغة تأخذنا بعيدا ـ وربما بعيدا جدا ـ عن الأنطولوجيا المادية. ولكي نوضح هذا ربما كان من المفيد أن نتذكر كيف يستخدم هذا الانتماء إلى تجمع احصائي، في تفسير الثرموديناميكا الكلاسيكية.

إذا ماحدد مراقب درجة حرارة نظام ما، وأراد أن يستنبط من نتائجه شيئا عن الحركات الجزيئية بالنظام، فقد يقول إن النظام هو مجرد عينة واحدة من طاقم مُقَنَّن، ومن ثم فربما اعتَبَر أن له عدة طاقات مختلفة. لكن النظام "فى الواقع" ـ هكذا قد نقول فى الفيزيقا الكلاسيكية ـ له طاقة واحدة محددة فى الوقت المعين، لن تتحقق فيه أى من الطاقات الأخرى. يُخدع المراقب إذا هو اعتبر أن ثمة طاقة أخرى محتملة فى تلك اللحظة. إن الطاقم المقنن يحوى تقارير ليس فقط عن النظام نفسه، وإنما أيضا عن معرفة المراقب غير الكاملة بالنظام. فإذا حاول بلوشنزيف فى نظرية الكم أن يقول عن انتماء ما لتجمُّع إنه "موضوعى تماما"، فإنه يستخدم كلمة "موضوعى" بمعنى يختلف عما تعنيه فى الفيزيقا الكلاسيكية. إذ أن معنى هذا الانتماء فى الفيزيقا الكلاسيكية ـ كما سبق وذكرنا ـ إنما هو تقارير ليس فقط عن النظام وإنما أيضا عن درجة معرفة المراقب بهذا النظام. ثمة استثناء يلزم أن نؤكده بالنسبة لهذا التقرير عن نظرية الكم. فإذا تميز التجمع فى نظرية الكم بدالة موجية واحدة فى فضاء تشكيل (وليس ـ كالعادة ـ بمصفوفة احصائية) فسنقابل وضعا خاصا (يمسى "الحالة الخالصة") قد يقال للوصف فيه إنه موضوعى بمعنى ما، وفيه لا يظهر على الفور عنصر المعرفة غير الكاملة. لكن، لما كان كل قياس سيعيد (بسبب ملامحه غير العَكُوسة) إدخال عنصر المعرفة غير الكاملة، فلن يختلف الوضع اختلافا جوهريا.

وفوق كل هذا فإن هذه الصياغات الجديدة توضح صعوبة أن نحاول أن ندفع بأفكار جديدة فى نظام قديم من المفاهيم ينتمى إلى فلسفة قديمة ـ أو، إذا استخدمنا استعارة قديمة، أن نعبىء نبيذا جديدا فى زجاجات قديمة. فمثل هذه المحاولات عادة ما تكون محزنة. إنها تضللنا فننشغل أنفسنا بالشروخ المحتومة بالزجاجات القديمة وننسى أن نمتع أنفسنا بالنبيذ الجديد. إننا لا نتوقع من المفكرين الذين قدموا المادية الجدلية منذ قرن من الزمان أن يتنبأوا بتطوير نظرية الكم. إن مفاهيمهم عن المادة والواقع، لم يكن لها أن تتلاءم من نتائج التقنيات التجريبية الدقيقة بأيامنا هذه.

ربما كان لنا هنا أن نضيف بعض الملاحظات العامة عن موقف العلماء بالنسبة لعقيدة ما، عقيدة قد تكون دينية أو سياسية. إن الفارق الجوهرى بين العقيدة الدينية والعقيدة السياسية ـ وهو أن الأخيرة تتعلق بالواقع المادى المباشر للعالم من حولنا فى حين أن موضوع الأولى هو واقع آخر أبعد من العالم المادى ـ هذا الفارق ليس مهما بالنسبة لهذه القضية بالذات. أما ما

يستحق المناقشة فهو مشكلة العقيدة ذاتها. إن المرء - بناء على ماقيل - ليطلب من العالم ألاّ يركن على الاطلاق إلى مذاهب خاصة، ألاّ يقيد منهجه فى التفكير بفلسفة معينة. عليه أن يكون مستعدا دائما لأن يغير أسس معرفته تبعا للخبرة الجديدة. لكن مثل هذا الطلب سيكون تبسيطا مخلا لوضعنا فى الحياة، لسببين. أولهما أن بنية تفكيرنا تحددها فى شبابنا الأفكارُ التى نصادفها آنئذ، أو الاتصال بشخصيات قوية نتعلم منها. ستشكل هذه البنية جزءا متكاملا من كل أعمالنا التالية، وقد تجعل من الصعب علينا أن نكيف أنفسنا فيما بعد مع أية أفكار جديدة تماما. أما السبب الثانى فهو أننا ننتمى إلى جالية أو مجتمع. هذا المجتمع تجمعه أفكار شائعة، أو مقياس شائع للقيم الأخلاقية، أو لغة شائعة يتحدث بها الفرد عن المشاكل العامة للحياة. وهذه القيم الشائعة قد تدعمها سلطة كنيسة، أو حزب، أو الدولة. وحتى لو لم يكن الأمر كذلك فقد يكون من الصعب أن يهجر الفرد الأفكار الشائعة دون صراع مع المجتمع. لكن نتائج التفكير العلمى قد تتعارض مع الأفكار الشائعة. والمؤكد أنه من الحماقة أن نطلب ألاّ يكون العالم عضوا مخلصا بمجتمعه، أن يُحْرم من سعادة الانتماء إلى مجتمع، وسيكون من الحماقة أيضا أن نطلب أن تتغير على الفور أفكار المجتمع الشائعة (وعادة ماتكون تبسيطا، من وجهة النظر العلمية) مع كل تقدم فى المعرفة العلمية، وأن تكون فى مثل التنوع الذى يلزم أن تكون عليه النظريات العلمية. وعلى هذا فإنا نعود ها هنا - حتى فى زماننا هذا - إلى مشكلة "الحقيقة المزدوجة" التى ملأت تاريخ الديانة المسيحية خلال العصور الوسطى المتأخرة. هناك المذهب القائل "إن الدين الوضعى - أيا كان شكله - هو ضرورة لا غنى عنها لجماهير الناس، وعلى رجل العلم أن يبحث عن الحقيقة الواقعية خلف الدين، وألاّ يبحث عنها إلاّ هناك". يقولون "إن العلم موضوع الخاصة، إنه للقلة فقط". فإذا أَخَذَت المذاهبُ السياسية والأنشطةُ الاجتماعية دور الدين الوضعى فى بعض الدول، فستبقى المشكلة على حالها. إن أول ما يتطلبه العالم هو الأمانة الفكرية، بينما يتطلب المجتمع من العالم - بالنظر الى تنوع العلم - أن ينتظر على الأقل بضعة عقود قبل أن يفصح للجمهور عن آرائه المخالفة. ليس ثمة من حل بسيط لهذه المشكلة، إذا لم يكن التساهل وحده كافيا، وربما يأتينا العزاء من حقيقة أنها بالتأكيد مشكلة قديمة تنتمى إلى حياة البشر.

نرجع الآن إلى الاقتراحات المضادة لتفسير كوبنهاجن لنظرية الكم لنناقش المجموعة الثانية من الاقتراحات، تلك التى تحاول تغيير نظرية الكم لتصل إلى تفسير فلسفى مختلف. قام جانوسى بأدق المحاولات فى هذا الاتجاه. أدرك أن الفعالية القوية لميكانيكا الكم تجبرنا على

التخلى عن مفهوم الواقع بالفيزيقا الكلاسيكية، وعلى هذا فقد التمس تغيير ميكانيكا الكم بطريقة تقترب فيها بنيتها من بنية الفيزيقا الكلاسيكية، مع بقاء الكثير من النتائج صحيحة. كانت نقطة الهجوم هو ما يسمى "اختزال دفقات الموجات" نعنى حقيقة أن الدالة الموجية - أو بشكل أعم، دالة الاحتمال - تتغير بشكل متقطع عندما يدرك المراقب نتيجة القياس. لاحظ جانوسى أن هذا الاختزال لا يمكن استنباطه من المعادلات التفاضلية للصورية الرياضية، واعتقد أنه يستطيع من هذا أن يستنتج وجود تناقض ذاتى فى التفسير المعتاد. من المعروف جيدا أن "اختزال دفقات الموجات" يظهر دائما فى تفسير كوبنهاجن عند تمام التحول من الممكن إلى الواقعى. فجأة تتحول دالة الاحتمال التى تغطى مجالا واسعا من الامكانيات، تتحول إلى مجال أضيق بكثير بسبب حقيقة أن التجربة قد قادت إلى نتيجة محددة، حقيقة أن واقعة معينة قد حدثت بالفعل. تتطلب هذه الصورية أن يُحطِّم مايسمى تداخل الاحتمالات (أهم مايميز نظرية الكم من ظواهر) عن طريق تفاعلات النظام غير المعروفة جزئيا واللاعكوسة، مع جهاز القياس وبقية العالم. حاول جانوسى الآن أن يغير ميكانيكا الكم بإدخال مايسمى حدود التضاؤل إلى المعادلات، بطريقة تختفى معها تلقائيا حدود التداخل بعد زمن متناه. وحتى لو كان هذا يناظر الواقع - وليس من سبب يدعو لهذا فى التجارب التى أجريت - فسيبقى لمثل هذا التفسير عدد من النتائج المزعجة، كما أشار جانوس نفسه (على سبيل المثال: الموجات التى تنتشر بسرعة تفوق سرعة الضوء، تبادل التعاقب الزمنى للسبب والنتيجة... إلخ). وعلى هذا يصعب أن نقبل التضحية ببساطة نظرية الكم من أجل مثل هذه النظرة، إلا إذا أجبرتنا التجارب على ذلك.

مِنْ بين مَنْ بقى من معارضى مايسمى أحيانا التفسير "الأرثوذكسى" لنظرية الكم، اتخذ شرودنجر موقعا فريدا لأنه ينسب "الواقع الموضوعى" ليس إلى الجسيمات وإنما إلى الموجات، ولأنه ليس مستعدا لتفسير الموجات على أنها "موجات احتمال فقط". فى عمل له تحت عنوان "أثمة قفزات كم؟" حاول أن ينكر وجود قفزات كماتية على الاطلاق (ربما ارتبنا فى صلاحية مصطلح "قفزة كم" فى هذا الموقع واستبدلنا بها مصطلحا أقل اثارة هو "اللااستمرارية"). يوجد بعمل شرودنجر، بادىء ذى بدء، بعض من عدم التفهم للتفسير المعتاد. إنه يغفل حقيقة أن الموجات فى فضاء التشكيل (أو "مصفوفات التحويل") هى، وهى فقط، موجات احتمال بالتفسير المعتاد، أما موجات الإشعاع أو موجات المادة، ثلاثية الأبعاد، فهى ليست كذلك. لهذه الأخيرة بالضبط نفس "الواقع" مثل الجسيمات، ليس لها ارتباط مباشر بموجات الاحتمال،

ولكن لها كثافة مستمرة من الطاقة وكمية الحركة، كمثل مجال كهرومغنطيسي في نظرية ماكسويل. وعلى هذا فقد أكد شرودنجر أنه من الممكن تصور أن العملياتِ في هذه النقطة أكثرُ استمرارية مما هي في المعتاد. لكن هذا التفسير لايمكن أن يزيل عامل اللا استمرارية الذى نجده فى كل مكان بالفيزياء الذرية، وتشهد كل شاشة وميض أو عداد جايجر بوجود هذا العنصر على الفور. وهو موجود بالتفسير المعتاد لنظرية الكم فى التحول من الممكن إلى الواقعي. لم يقدم شرودنجر ذاته أي اقتراح مضاد عن الكيفية التي ينوى بها تقديم عنصر اللا استمرارية، الملحوظ فى كل مكان، بأسلوب يختلف عن أسلوب التفسير المعتاد.

وأخيرا فإن النقد الذى ظهر فى العديد من أبحاث آينشتين ولاوه وغيرهما يركز على قضية ما اذا كان تفسير كوبنهاجن يسمح بوصف متفرد موضوعي للحقائق الفيزيائية. يمكن أن نعرض حججهم الجوهرية فيما يلي: إن البرنامج الرياضى لنظرية الكم يبدو وصفا كاملا كافيا لإحصائيات الظواهر الذرية. لكن حتى لو كانت تقاريره عن احتمالات الوقائع الذرية صحيحة تماما، فإن هذا التفسير لا يصف مايحدث واقعيا وصفا مستقلا عن الملاحظات أو بين الملاحظات. لكن شيئا ما لابد أن يحدث، هذا أمر لا يمكن الشك فيه. وهذا الشيء لا يلزم أن يوصف بصيغة الإلكترونات أو الموجات أو كمات الضوء. ومهمة الفيزياء لا تتم دون أن نصفه بشكل أو بآخر. لا يمكن أن نقر بأنه يشير إلى فعل الملاحظة وحده. لابد للفيزيائى أن يسلم أنه فى علمه إنما يدرس عالما لم يصنعه هو، عالما سيوجد دون تغير يذكر فى غير وجوده. وعلى هذا فإن تفسير كوبنهاجن لا يقدم أى تفهم حقيقى للظواهر الذرية.

يسهل مرة أخرى أن نرى أن مايتطلبه هذا النقد هو الأنطولوجيا المادية القديمة. ولكن، ماذا ستكون الاجابة من وجهة نظر تفسير كوبنهاجن؟

يمكن القول إن الفيزياء جزء من العلم، ومن ثم فإنها تهدف إلى وصف وتفهم الطبيعة. وأى صورة للتفهم ـ علمية كانت أو غير علمية ـ إنما تعتمد على لغتنا، على تبادل الأفكار. إن كل وصف للظواهر، للتجارب ونتائجها، يرتكز على اللغة كسبيل أوحد للاتصال. وكلمات هذه اللغة تمثل مفاهيم الحياة اليومية، وهى مفاهيم هُذّبت فى اللغة العلمية للفيزياء إلى صورة مفاهيم الفيزياء الكلاسيكية. هذه المفاهيم هى الأدوات الوحيدة لاتصال لايشوبه غموض حول الوقائع، حول إقامة التجارب وحول نتائجها. وعلى هذا فاذا ماسئل الفيزيائى أن يقدم وصفا لما يحدث واقعيا فى تجاربه، فإن كلمات "وصفا" و "يحدث" و "واقعيا" لا تشير إلا إلى مفاهيم الحياة

اليومية أو الفيزياء الكلاسيكية. فإذا ماتخلى الفيزيائى عن هذا الأساس، فقد وسيلة الاتصال غير الغامض، فلا يستطيع المضى فى عمله. وعلى هذا فإن أى تقرير عما قد "حدث واقعيا" هو تقرير صيغ فى لغة المفاهيم الكلاسيكية، وهو بطبيعته ناقص بالنسبة لتفاصيل الوقائع الذرية - بسبب الثرموديناميكية والعلاقات اللامحققية. إن سؤالنا أن "نَصِفَ مايحدث" (فى عملية الكم النظرية) بين ملاحظتين متعاقبتين هو - بصفته - تناقض، لأن كلمة الوصف إنما تعنى استخدام المفاهيم الكلاسيكية، بينما لايمكن تطبيق هذه المفاهيم على الفضاء بين الملاحظات، هى لاتطبق إلا عند مواقع الملاحظة.

يجب هنا أن نلاحظ أن تفسير كوبنهاجن لنظرية الكم ليس على الإطلاق وضعيا. فبينما تركز الوضعية على أن عناصر الواقع هى الادراكات الحسية للمراقب، فإن تفسير كوبنهاجن يعتبر الأشياء والعمليات التى يمكن وصفها بلغة المفاهيم الكلاسيكية، نعنى الواقعية، أساسا لأى تفسير فيزيائى.

فى نفس الوقت سنلاحظ أننا لا نستطيع تجنب الطبيعة الاحصائية لقوانين الفيزياء الميكروسكوبية، لأن أية معرفة عن "الواقعى" هى بذات طبيعتها معرفة ناقصة، بسبب قوانين الكم - النظرية.

ارتكزت أنطولوجيا المادية على الوهم بأنه من الممكن فى الميدان الذرى استقراء نوع الوجود، "الحقيقة الواقعة" للعالم من حولنا. غير أن هذا الاستقراء مستحيل.

ولقد نضيف بضع ملاحظات تتعلق بالتركيب الصورى لكل الاقتراحات المضادة التى أثيرت حتى الآن ضد تفسير كوبنهاجن لنظرية الكم. لقد وجدت كل هذه الاقتراحات أنها مضطرة إلى التضحية بالخصائص السيمترية الجوهرية لنظرية الكم (مثلا: السيمترية بين الموجات والجسيمات أو بين الموقع والسرعة). لنا إذن أن نفترض أننا لانستطيع أن نتفادى تفسير كوبنهاجن إذا كان لخصائص السيمترية هذه - مثلها مثل لاتغير لورنتس فى نظرية النسبية - أن تُعتبر ملمحا حقيقيا للطبيعة. وكل التجارب التى أجريت حتى الآن تعضد هذه الفكرة.



نظرية الكم وبنية المادة

خضع مفهوم المادة فى تاريخ التفكير البشرى لعدد كبير من التغيرات. ثمة تفسيرات له مختلفة فى النظم المختلفة. ولا تزال كل هذه المعانى المختلفة موجودة بدرجةٍ صغرت أو كبرت، فيما نمنحه الآن من معنى لكلمة "المادة".

فى بحثهم عن مبدأ موحّد فى التحول الجامع للأشياء جميعا، شكّل الفلاسفة الاغريق القدامى - من طاليس وحتى الذريين - شكلوا مفهوم المادة الكونية، جوهر كلى يَخْبِر كل هذه التحولات، منه تنشأ كل الأشياء المفردة وإليه تَحُول ثانية. ولقد توحدت هذه المادة - جزئيا - بمواد معينة كالماء والهواء والنار، جزئيا فقط، فليس لها صفةُ جوهرٍ أخرى سوى أن تكون المادة التى تُصنع منها كل الأشياء.

وفيما بعد، وفى فلسفة أرسطو، فُكّر فى المادة من ناحية العلاقة بين الصورة والمادة. فكل مانحسه فى العالم من ظواهر حولنا هو مادة قد اتخذت صورة، والمادة ذاتها ليست واقعا، إنما هى إمكان، بوتنشيا. إنها توجد فقط عن طريق الصورة. "فالجوهر" فى العملية الطبيعية - وهكذا أسماه أرسطو - يتحول من مجرد إمكان، إلى صورة، فإلى واقع. والمادة عند أرسطو ليست بالتأكيد مادة بذاتها، كالماء أو الهواء، لا ولاهى مجرد فضاء فارغ، إنما هى نوع من القوام المادى الغامض غير المحدد، ينتظم إمكانيةَ التحولِ إلى واقع عن طريق الصورة. والأمثلة النموذجية لهذه العلاقة بين المادة والصورة فى فلسفة أرسطو، هى العمليات البيولوجية التى تتشكل فيها المادة لتصبح كائنات حية، ثم نشاط الانسان فى البناء والتشكيل. إن التمثال كامن فى الرخام قبيل أن ينحته المثّال.

وبعد ذلك بكثير، وبدءًا بفلسفة ديكارت، أُخذت المادة في مقابلة الذهن. كان هناك الوجهان المتتامان للعالم: "المادة" و "الذهن"، أو كما سماهما ديكارت "الشيء الممتد" و "الشيء المفكر". ولما كانت القواعد المنهجية الجديدة للعلوم الطبيعية ـ لا سيما الميكانيكا ـ قد استبعدت رد أي من الظواهر المادية إلى القوى الروحية، فمن الممكن اعتبار المادة ذاتها واقعا مستقلا عن الذهن وعن أية قوى خارقة. كانت "المادة" في هذه المرحلة "مادةً قد صُوِّرت"، وفُسرت عملية التصوير كسلسلة عِلِّيَّة من التفاعلات الميكانيكية، وفقدت كل علاقاتها بالروح الخاملة في الفلسفة الأرسطية، ومن ثم أصبحت الثنائية بين المادة والصورة ولا علاقة لها بالموضوع، ومازال مفهوم المادة هذا هو الذي يشكل الأساس في استخدامنا الحالي لكلمة "مادة".

وأخيرا، لعبت ثنائية أخرى دورا ما في العلوم الطبيعية للقرن التاسع عشر، الثنائية بين المادة والقوة: المادة هي ماتعمل عليه القوى، أو، المادة يمكن أن تنتج القوى. فالمادة مثلا تنتج قوة الجاذبية، وهذه القوة تعمل على المادة. المادة والقوة وجهان للعالم المادي متميزان عن بعضهما. أما بالنسبة لاحتمال أن تكون القوى قوى تصويرية فإن هذا التمييز يقترب من التمييز الأرسطي بين المادة والصورة. من ناحية أخرى سنجد في آخر التطورات في الفيزياء الحديثة أن هذا التمييز قد انتهى، لأن كل مجال للقوى يحمل طاقة، وهو إلى هذا المدى يؤلف مادة، فلكل مجال من مجالات القوى نوع معين من الجسيمات الأولية لها أساسا نفس خصائص كل الوحدات الذرية الأخرى للمادة.

عندما تقوم العلوم الطبيعية بدراسة مشكلة المادة، فإنها تقوم بذلك فقط من خلال دراسة صُوَر المادة. والتحولية والتنوع اللانهائي لصور المادة لا بد أن يكونا الموضوع المباشر للاستقصاء، ولابد أن توجه الجهود نحو إيجاد بعض القوانين الطبيعية، بعض المبادىء المُوَحِّدة التي يمكن أن تخدم كدليل خلال هذا المجال الفسيح. وعلى هذا فإن العلوم الطبيعية ـ والفيزيقا بالذات ـ قد ركزت اهتمامها ولفترة طويلة على تحليل بنية المادة وتحليل القوى المسئولة عن هذه البنية.

أصبحت التجربة هي المنهج الأساسي للعلوم الطبيعية منذ عهد جاليليو. يُمَكِّننا هذا المنهج من العبور من الخبرة العامة إلى الخبرة النوعية، من أن نفرد الوقائع المميزة في الطبيعة التي يمكن منها دراسة "قوانين" هذه الطبيعة بشكل أكثر مباشرة من الخبرة العامة. فإذا أردنا أن ندرس بنية المادة فعلينا أن نقوم بالتجارب على المادة. علينا أن نعرِّض المادة لأقسى الظروف

حتى يمكن أن ندرس تحولاتها، على أمل أن نصل إلى الملامح الجوهرية للمادة، الملامح التى تدوم تحت كل التغيرات الظاهرة.

كان هذا هو موضوع الكيمياء فى العهود المبكرة للعلوم الطبيعية الحديثة. ولقد أدى هذا المسعى - مبكرا نسبيا - إلى مفهوم العنصر الكيماوى. سُمّى الجوهر الذى لايمكن أن يُفَكك أو يتحطم إلى مدى أبعد بأى وسيلة متاحة أمام الكيماوى - الغليان، الحرق، الإذابة، المزج بجواهر أخرى - سُمى عنصرا. كان تقديم هذا المفهوم خطوة أولى، بل وأهم خطوة، نحو تفهم بنية المادة. لقد اختُزل التنوعُ الهائل من الجواهر - على الأقل - إلى عدد أقل نسبيا من جواهر أكثر أولية، أو "عناصر"، وبذا أمكن إقامة نوع من النظام بين الظواهر المتباينة للكيمياء. واستخدمت كلمة "ذرة" بناء على ذلك لتعنى أصغر وحدة من المادة تنتمى إلى العنصر الكيماوى. أما أصغر جسيم من المركب الكيماوى يمكن اقتناصه فمن الممكن تَصَوره كمجموعة من ذرات مختلفة. فأصغر جسيم لعنصر الحديد، مثلا، هو ذرة الحديد، وأصغر جسيم للماء هو جزىء الماء، الذى يتركب من ذرة أكسجين واحدة وذرتين أيدروجين.

أما الخطوة الثانية، والتى تكاد توازى الأولى أهمية، فكانت اكتشاف حفظ الكتلة فى العمليات الكيماوية. فعلى سبيل المثال، عندما يحرق عنصر الكربون إلى ثانى أكسيد الكربون، فإن كتلة ثانى أكسيد الكربون تساوى حاصل جمع كتلتى الكربون والأكسجين قبل عملية الاحتراق. كان هذا هو الاكتشاف الذى أضفى المعنى الكمى على مفهوم المادة: من الممكن أن تقاس المادة عن طريق كتلتها، بعيدا عن خصائصها الكيماوية.

وفى خلال الفترة التالية - ومعظمها بالقرن التاسع عشر - اكتُشف عدد من العناصر الكيماوية الجديدة. ولقد وصل هذا العدد الآن إلى مائة عنصر. بيَّن هذا التطور بجلاء أن مفهوم العنصر الكيماوى لم يصل بعد إلى النقطة التى عندها يمكننا تفهم وحدة المادة. لم يكن يرضينا أن نعتقد بوجود عدد كبير جدا من أنواع المادة، تختلف وصفيا دون ماعلاقة بينها.

ظهرت فى بداية القرن التاسع عشر بعض الشواهد على وجود علاقة تربط مابين العناصر المختلفة، وذلك فى حقيقة أن الأوزان الذرية للعناصر المختلفة كثيرا ماتبدو مضاعفات كاملة لوحدة صغرى تقترب من الوزن الذرى للأيدروجين. وكان ثمة اشارة أخرى فى تشابه السلوك الكيماوى لبعض العناصر، تقود إلى نفس الاتجاه. لكن الأمر يتطلب اكتشاف قوى أكبر بكثير

من تلك الخاصة بالعمليات الكيماوية قبل أن يمكننا حقا أن نوطد علاقة بين العناصر المختلفة، ومن ثم إلى توحيد للمادة أكثر قربا.

ولقد عثر على هذه القوى بالفعل فى العملية الاشعاعية التى اكتشفها بيكريل سنة ١٨٩٦. قام رذرفورد وكورى وآخرون باستقصاءات متعاقبة أوضحت تحول العناصر فى العملية الاشعاعية. تُبعث جسيمات ألفا فى هذه العمليات كشظايا من الذرات لها طاقة تبلغ نحو مليون ضعف طاقة جسيم ذرى مفرد فى عملية كيماوية. وعلى هذا فمن الممكن أن تستخدم هذه الجسيمات كأدوات جديدة لتفحص البنية الداخلية للذرة. وكانت النتيجة هى النمط النووى للذرة الذى قدمه رذرفورد عام ١٩١١ بناء على تجاربه على استطارة أشعة ألفا. كان أهم ملامح هذا النمط الشهير هو فصل الذرة إلى جزءين متميزين تماما: نواة الذرة، والقشرة المحيطة من الإلكترونات. لاتحتل النواة بوسط الذرة الا جزءا غاية فى الصغر من الحيز الذى تشغله الذرة (فقطرها يبلغ نحو واحد من مائة ألف من قطر الذرة)، لكنها تحمل كل كتلة الذرة تقريبا، وتحدد شحنتُها الموجبة - وهى مضاعف كامل لما يسمى الشحنة الأولى - عددَ الإلكترونات المحيط (فالذرة ككل لابد أن تكون متعادلة كهربيا)، كما تحدد شكلَ مداراتها.

أما التمييز بين نواة الذرة وقشرتها الإلكترونية فقد أعطى على الفور تفسيرا صحيحا لحقيقة أن العناصر الكيماوية فى الكيمياء هى الوحدات الأخيرة للمادة، وأن تحول مادة إلى أخرى يتطلب قوى أكبر بكثير جدا. ترجع الروابط الكيماوية بين الذرات المتجاورة إلى تفاعل القشرات الإلكترونية، وطاقة هذه التفاعلات صغيرة نسبيا. فالإلكترون الذى يُعَجَّل فى أنبوبة تفريغ بجهد لايزيد عن بضع فولتات، له من الطاقة مايكفى لإثارة القشرة الإلكترونية لتبث الإشعاع، أو لتحطيم الرابطة الكيماوية فى جزىء. لكن السلوك الكيماوى للذرة، وإنْ تألَّف من سلوك القشرات الإلكترونية، فإنما تحدده شحنة النواة. إن علينا أن نغير النواة إذا أردنا أن نغير الخصائص الكيماوية، وهذا يتطلب طاقات أكبر بنحو مليون ضعف.

على أن النموذج النووى لايمكن أن يفسر ثبات الذرة - إذا ماأُخذ على أنه نظام يخضع لميكانيكا نيوتن. وكما ذكرنا فى فصل سابق، فإن تطبيق نظرية الكم على هذا النموذج من خلال عمل بوهر، هو وحده مايمكن أن يفسر حقيقة أن ذرة الكربون مثلا، بعد أن تتفاعل مع ذرات أخرى، أو بعد أن تُطلِق الاشعاع، فإنها فى النهاية تظل دائما ذرة كربون لها نفس

الأغلفة الإلكترونية التي كانت لها. يمكن أن نفسر هذا الثبات ببساطة عن طريق تلك الملامح من نظرية الكم التي تَحُول دون أن نصف بنية الذرة وصفا بسيطا موضوعيا في المكان والزمان.

بذا أصبح لدينا في النهاية أساسا أوليا لتفهم المادة. فمن الممكن أن نفسر الخصائص الكيماوية للذرة، وغيرها من الخصائص، بتطبيق البرنامج الرياضي لنظرية الكم على القشرة الإلكترونية. ومن هذا الأساس قد نحاول أن نمد تحليل بنية المادة في اتجاهين متضادين. فقد ندرس تفاعل الذرات وعلاقتها بالوحدات الأكبر كالجزيئات والبلورات والأشياء الحيوية. وقد نحاول عن طريق البحوث في نواة الذرة ومكوناتها أن ننفذ إلى الوحدة النهائية للمادة. ولقد مضت البحوث في كلا الاتجاهين في العقود الأخيرة. وسنحاول في الصفحات التالية أن نلقي الضوء على دور نظرية الكم في هذه المجالين.

والقوى بين الذرات هي أساسا قوى كهربية، انجذاب الشحنات المتضادة وتنافر الشحنات المتماثلة. تجذب النوايا الإلكترونات، وتتنافر عن بعضها. لكن هذه القوى لاتعمل وفقا لقوانين ميكانيكا نيوتن، وإنما وفقا لقوانين ميكانيكا الكم.

وهذا يقود إلى نمطين مختلفين لربط الذرات. في النمط الأول يمر الكترون من ذرة إلى الذرة الأخرى، مثلا، ليسد النقص في غلاف إلكتروني مقفل تقريبا. في هذه الحالة تصبح الذرتان في النهاية مشحونتين وتشكلان مايسميه الفيزيائي الأيونات ولما كانت شحنتاهما متضادتين، فإنهما تجذبان بعضهما بعضا.

أما في النمط الثاني، فهناك إلكترون ينتمي لكلتا الذرتين بطريقة تميز نظرية الكم. فإذا استخدمنا صورة مدار الإلكترون، فقد نقول إن الإلكترون يدور حول النواتين ليقضي وقتا متساويا في كل من الذرتين. وهذا النمط الثاني من الارتباط ينسجم مع مايسميه الكيماويون رابطة التكافؤ.

وهذان النمطان من القوى، وقد يحدثان بأي مزيج، يتسببان في تشكيل تجمعات مختلفة من الذرات، ويبدو أنهما مسئولان في نهاية المطاف عن كل البنى المعقدة من المادة التي هي مجال دراسات الفيزياء والكيمياء. يحدث تشكيل المركبات الكيماوية من خلال تشكيل مجاميع مقفلة صغيرة من الذرات المختلفة، كل مجموعة تمثل جزيئا من جزيئات المركب. أما تكوين البلورات فيرجع إلى ترتيب الذرات في شبيكات منتظمة. وتتشكل المعادن عندما تعبأ الذرات في إحكام

بحيث يمكن لإلكتروناتها الخارجية أن تترك قشرتها وأن تجول خلال البلورة بأكملها. وترجع المغنطيسية إلى حركة لف الإلكترونات، وهلم جرا.

يمكننا في هذه الحالات أن نستبقي الثنائية بين المادة والقوة، إذ نستطيع أن نعتبر النوايا والإلكترونات شظايا من المادة حفظتها القوى الكهرومغنطيسية سويا.

بهذه الطريقة وصلت الفيزياء والكيمياء إلى وحدة تكاد تكون كاملة بالنسبة لعلاقتهما ببنية المادة. لكن البيولوجيا تتعامل مع بنى من نوع أكثر تعقيدا، ونمط يختلف بعض الشيء. فبالرغم من كمال الكائن الحي، فمن المؤكد أننا لا نستطيع أن نضع خطا فاصلا واضحا يفصل المادة الحية عن غير الحية. ولقد وفر لنا التقدم في البيولوجيا عددا كبيرا من الأمثلة التي يمكن منها أن نرى وظائف بيولوجية معينة تتم عن طريق جزيئات خاصة كبيرة جدا، أو مجاميع أو سلاسل من هذه الجزيئات، وأن ثمة اتجاها متزايدا في البيولوجيا الحديثة لتفسير العمليات البيولوجية كنتائج لقوانين الفيزياء والكيمياء. لكن طبيعة الثبات الذي تظهره الكائنات الحية تختلف بعض الشيء عن طريق ثبات الذرات أو البلورات. إنه ثباتُ العملية أو الوظيفة لاثبات الصورة. وليس ثمة من شك في أن قوانين نظرية الكم تلعب دورا هاما للغاية في الظواهر البيولوجية. وعلى سبيل المثال، فإن تلك القوى الخاصة الكماتية - النظرية التي لايمكن أن توصف إلا بصورة غير دقيقة عن طريق مفهوم التكافؤ الكيماوي، هذه القوى جوهريةً تماما لتفهم الجزيئات العضوية الضخمة وأنماطها الهندسية المختلفة. والتجارب التي أجريت على الطفرات البيولوجية الناتجة عن الإشعاع تبين ملاءمة القوانين الاحصائية الكماتية - النظرية كما تبين وجود آليات مُضَخِّمة. والتشابه القريب بين عمل جهازنا العصبي وأداء الحاسبات الإلكترونية الحديثة يؤكد مرة أخرى أهمية العمليات الأولية المفردة في الكائنات الحية. لكن هذا كله لايثبت أن الفيزياء والكيمياء، ومعهما مفهوم التطور، ستقدم يوما ما وصفا كاملا للكائنات الحية. لابد أن تجرى بحوث العمليات البيولوجية بحذر شديد مقارنةً بمثيلاتها في الفيزياء والكيمياء. ولقد يكون من الصحيح - كما يقول بوهر - أننا لانستطيع أن نقدم وصفا للكائنات الحية يعتبره الفيزيائي تاما، لأن ذلك يتطلب تجارب تدخل بشدة في الوظائف البيولوجية. وصف بوهر هذا الوضع بقوله إننا في البيولوجيا إنما نهتم بتجليات الإمكانات في تلك الطبيعة التي تنتمي اليها، لابنتائج التجارب التي يمكن أن نجريها نحن. ووضع التتام هذا الذي تلمع إليه هذه الصياغة يتجلى في اتجاهٍ بمناهج البحث البيولوجي الجديد يستغل كلَّ

مناهج ونتائج الفيزياء والكيمياء، كما يرتكز من ناحية أخرى على مفاهيم تشير إلى ملامح الطبيعة العضوية التي لاتتضمنها الفيزياء والكيمياء ـ كمفهوم الحياة نفسها.

تعقبنا حتى الآن تحليل بنية المادة في اتجاه واحد: من الذرة إلى التراكيب الأعقد المؤلفة من عديد من الذرات، من الفيزياء الذرية إلى فيزياء الأجسام الجامدة. علينا الآن أن نلتفت إلى الاتجاه المضاد فنتبع خط البحث من الأجزاء الخارجية للذرة إلى أجزائها الداخلية، من النواه إلى الجسيمات الأولية. وهذا هو الخط الذي يُحتمل أن يقود إلى وحدة المادة. هنا لن نخشى أن تحطِّم التجارب خصائص البنى. وعندما نحدد المهمة في اختبار الوحدة النهائية للمادة، فقد نُعَرِّض المادة إلى أقوى القوى الممكنة، إلى أقسى الظروف تطرفا، حتى نرى إن كان من الممكن أن تتحول أي مادة إلى مادة أخرى في نهاية المطاف.

وأولى الخطوات في هذا الاتجاه هو التحليل التجريبي لنواة الذرة. في المرحلة الأولى لهذه الدراسات ـ والتي شغلت تقريبا العقود الثلاثة الأولى من هذا القرن ـ كانت الأدوات الوحيدة المتاحة للتجارب على النواة هي جسيمات ألفا التي تبثها الأجسام المشعة. ولقد نجح رذرفورد عام ١٩١٩ بمساعدة هذه الجسيمات في تحويل نوايا العناصر الخفيفة، فتمكن مثلا من تحويل نواة نتروجين إلى نواة أكسجين باضافة جسيم ألفا إلى نواة النتروجين وطرد بروتون واحد في نفس الوقت. كان هذا أول مثال لعمليات على مستوى النواة تذكرنا بالعمليات الكيماوية، إنما أدت الى التحول الاصطناعي للعناصر. وكان التقدم المهم التالي كما نعرف هو التعجيل الاصطناعي للبرتونات بجهاز عالي الجهد إلى طاقات تكفي لإتمام التحول النووي، وهذا يتطلب فلْطية تبلغ نحو مليون فولت. ولقد نجح كوكروفت ووالطون في أولى تجاربهما الحاسمة في تحويل نوايا عنصر الليثيوم إلى نوايا هليوم. فتح هذا الكشف خطا جديدا تماما من البحوث، يمكن أن نسميه الفيزياء النووية بالمعنى الصحيح، ولقد قاد بسرعة إلى تفهم كيفي لبنية النواة الذرية.

كان تركيب النواة في الحق بسيطا للغاية. تتركب نواة الذرة من نوعين فقط من الجسيمات الأولية، أحدهما هو البروتون الذي هو في نفس الوقت نواة الأيدروجين، أم الآخر فيسمى النيوترون، وهذا جسيم متعادل كهربيا وله تقريبا نفس كتلة البروتون. يمكن تمييز كل نواة بعدد البروتونات والنيوترونات التي تكونّها. فنواة الكربون العادية على سبيل المثال تتألف من ستة بروتونات وستة نيوترونات، وهناك نوايا كربون أخرى توجد بتكرار أقل (هي نظائر الأولى)

تتألف من ستة بروتونات وسبعة نيوترونات... إلخ. وعلى هذا فلقد وصلنا إلى وصف للمادة ليس به سوى ثلاث وحدات جوهرية (بدلا من العديد من العناصر الكيماوية المختلفة) هى: البروتون والنيوترون والإلكترون. والمادة جميعا تتألف من ذرات، ومن ثم فهى تتكون من لبنات البناء الجوهرية هذه. لم يكن هذا بعد هو وحدة المادة، لكنه بالتأكيد كان خطوة هامة نحو التوحيد والتبسيط - ولعل هذه الميزة الأخيرة هى الأكثر أهمية. كان الطريق لايزال بالطبع طويلا من معرفة حَجَرَىْ البناء للنواة إلى التفهم الكامل لبنيتها. لكن المشكلة هنا كانت مختلفة بعض الشيء عن المشكلة المناظرة في القشرة الخارجية للذرة التى حلّت فى أواسط العشرينات. ففي القشرة الإلكترونية كنا نعرف القوى بين الجسيمات بدرجة عالية من الدقة وكان علينا أن نجد قوانين الديناميكا، وقد وجدناها فى ميكانيكا الكم. أما فى النواة، فقد كنا نستطيع أن نفترض أن القوانين الديناميكية هى قوانين ميكانيكا الكم، لكن القوى بين الجسيمات لم تكن معروفة مقدما، وكان من الضرورى أن تُستنبط من الخصائص التجريبية للنوايا. لم تحل هذه المشكلة حتى الآن. يبدو أنْ ليس للقوى تلك الصورة البسيطة للقوى الكهروستاتيكية بالقشرة الإلكترونية، ومن ثم فإن الصعوبة الرياضية لحساب الخصائص من القوى المعقدة، بجانب عدم دقة التجارب، قد جعلتا من التقدم أمرا عسيرا. لكن المؤكد أننا قد توصلنا إلى تفهم كيفى لبنية النواة.

ثم بقيت المشكلة الأخيرة: وحدة المادة. فهل لَبِنات البناء الجوهرية هذه - البروتون، النيوترون، الإلكترون - وحداتٌ نهائية للمادة لاتُحَطَّم، أى ذرات بالمعنى عند ديموقريطس، لا علاقة بينها سوى علاقة القوى التى تعمل بينها؟ أم هى مجرد صور مختلفة لنفس النوع من المادة؟ هل يمكن لها أيضا أن تتحول إلى بعضها بعضا، أو ربما أيضا إلى صور أخرى من المادة؟ إن المعالجة التجريبية لهذه المشكلة تتطلب قوى وطاقات تُرَكَّز على الجسيمات الذرية، تزيد كثيرا عن تلك التى تلزم لتفحص النواة الذرية. ولما كانت الطاقات المخزنة فى النوايا الذرية ليست بالضخامة الكافية لتوفر لنا أداةً لمثل هذه التجارب، فقد كان على الفيزيائى إما أن يعتمد على قوى ذات أبعاد كونية أو على عبقرية المهندسين وحنكتهم.

والواقع أن ثمة تقدم قد حدث فى كلا الخطين. ففى الحالة الأولى، استخدم الفيزيائيون مايسمى الأشعة الكونية. فالمجالات الكهرومغطيسية على أسطح النجوم الممتدة فوق مساحات هائلة، تستطيع تحت ظروف معينة أن تعجل إلكترونات ونوايا ذرية مشحونة. ويبدو أن للنوايا -

بسبب قصورها الذاتي الأعلى - فرصة أكبر للبقاء بالمجال المُعَجِّل لمسافة أطول. فإذا ماتركت في النهاية سطح النجم إلى الفضاء الفارغ فستكون وقد تحركت بالفعل خلال جهد يبلغ بضعة آلاف الملايين من الفولتات. ولقد يحدث ثمة تعجيل إضافي في المجالات المغنطيسية بين الأنجم. على أية حال يبدو أن النوايا تبقى داخل فضاء المجرة لفترة طويلة بسبب مجالات مغنطيسية متباينة، لتملأ في نهاية الأمر هذا الفراغ بما نسميه الأشعة الكونية. يصل هذا الاشعاع إلى الأرض من خارجها، وهو يتألف عمليا من نوايا من كل الأنواع - الأيدروجين والهليوم والكثير من العناصر الأثقل - نوايا لها طاقات تبلغ تقريبا من مائة أو ألف مليون إلكترون فولت، وحتى مليون ضعف هذه القيمة في بعض الحالات النادرة. وعندما تنفذ جسيمات هذه الأشعة إلى الغلاف الجوى للكرة الأرضية فإنها تصطدم بذرات النتروجين أو الأكسجين بهذا الغلاف، أو قد ترتطم بالذرات في أى جهاز تجريبي معرض للاشعاع.

أما الخط الثاني من البحوث فهو انشاء ماكينات التعجيل الضخمة، وكان نموذجها الأوليّ هو السيكلوترون الذى أقامه لورانس في كاليفورنيا في أوائل الثلاثينات. والفكرة الأساسية في هذه الماكينات هو أن نُبقي الجسيمات المشحونة - وعن طريق مجال مغنطيسي ضخم - تدور عددا كبيرا جدا من المرات لكي تدفعها مجالات كهربية، في طريقها، المرة بعد المرة. وتستخدم في بريطانيا العظمى الآن ماكينات تصل الطاقة فيها إلى بضع مئات الملايين من الإلكترون فولت. كما تقام الآن في جنيف ماكينة ضخمة جدا من هذا الطراز من خلال تعاون اثنتى عشرة دولة أوروبية ونأمل أن تصل الطاقة فيها إلى ٢٥٠٠٠ مليون إلكترون فولت. ولقد بينت التجارب التي استخدمت الأشعة الكونية أو المعجّلات الضخمة ملامح جديدة مثيرة للمادة - الإلكترون، البروتون، النيترون - إذ اكتشفت جسيمات أولية جديدة يمكن تخليقها في هذه العمليات ذات الطاقات الأعلى، لتختفي ثانية بعد فترة قصيرة. لهذه الجسيمات الجديدة خصائص تشبه خصائص الجسيمات القديمة سوى أنها غير ثابتة إذ يبلغ عمر أكثرها ثباتا نحو جزء من مليون جزء من الثانية، بل ويبلغ عمر البعض منها واحدا على ألف من هذا. ولقد عرف حتى الآن نحو ٢٥ جسيما مختلفا وكان آخرها هو البروتون السالب.

تبدو هذه النتائج للوهلة الأولى وكأنها تقود بعيدا عن فكرة وحدة المادة، إذ يبدو عدد الوحدات الأساسية وقد ازداد ثانية إلى رقم يقارب عدد العناصر الكيماوية المختلفة. لكن هذا التفسير ليس صحيحا، فلقد بينت التجارب في نفس الوقت أن الجسيمات يمكن أن تُخَلَّق من

جسيمات أخرى، أو ببساطة، من الطاقة الحركية لمثل هذه الجسيمات، كما أنها يمكن أن تضمحل ثانية إلى جسيمات أخرى. والواقع أن التجارب قد أوضحت التحولية الكاملة للمادة. فكل الجسيمات الأولية يمكن تحت مايكفي من طاقة عالية، أن تتحول إلى جسيمات أخرى، كما يمكن تخليقها بسهولة من الطاقة الحركية، ويمكن أيضا أن تندثر إلى طاقة، إلى اشعاع مثلا. وعلى هذا فقد وجدنا هنا الدليل النهائي على وحدة المادة. كل الجسيمات الأولية مصنوعة من نفس الجوهر، الذى قد نسميه الطاقة أو المادة الكونية. إنها مجرد صور مختلفة يمكن للمادة أن تظهر بها.

فإذا قارنا هذا الموضوع بالمفاهيم الأرسطية للمادة والصورة، ففى مقدورنا أن نقول إن مادة أرسطو، وهى مجرد بوتنشيا، هى الموازى لمفهوم الطاقة عندنا، تلك التى تصبح حقيقة واقعة عن طريق الصورة، عندما يُخْلق الجسيم الأولى.

طبيعى أن الفيزياء الحديثة لا تقنع بمجرد الوصف الكيفى للبنية الأساسية للمادة، إن عليها أن تحاول بالتفحص التجريبى أن تصل إلى صياغة رياضية للقوانين الطبيعية التى تحدد "صور" المادة، والجسيمات الأولية وقواها. لم يعد فى مقدورنا أن نضع خطا فاصلا بين المادة والقوة فى هذا الفرع من الفيزيقا، لأن كل جسيم أولى لاينْتِج فقط بعض القوى ولا تؤثر فيه فقط بعض القوى، إنما هو يمثل فى نفس الوقت مجالا معينا من القوى. والثنائية الكماتية ـ النظرية للموجات والجسيمات تجعل الكيان نفسه يبدو مادة ويبدو قوة.

وكل المحاولات التى تمت حتى الآن للعثور على وصف رياضى للقوانين الخاصة بالجسيمات الأولية، كلها قد بدأت من نظرية الكم لمجالات الموجة. ولقد بدأت فى أوائل الثلاثينات البحوث النظرية فى مثل هذه النظريات. لكن أول الاستقصاءات على هذا الخط قد كشفت عن صعوبات قصوى ترجع إلى مزيج من نظرية الكم ونظرية النسبية الخاصة. قد يبدو من الوهلة الأولى أن النظريتين ـ الكم والنسبية الخاصة ـ تشيران إلى نواحى مختلفة للطبيعة، بحيث لا توجد ثمة علاقة بينهما، أنه من السهل أن نَفِى باحتياجات النظريتين فى نفس الصورية. على أن التفحص الدقيق سيبين أن النظريتين تتداخلان فعلا عند نقطة معينة، وأن المشاكل كلها تنبع من هذه النقطة.

كشف نظرية النسبية الخاصة عن بنية للمكان والزمان تختلف بعض الشىء عن البنية التى

كانت تُفترض عادة منذ ميكانيكا نيوتن. وكان أهم ملامح هذه البنية المكتشفة حديثا هو وجود سرعة قصوى لايمكن لأى جسم متحرك أو أية إشارة متحركة أن تتجاوزها - سرعة الضوء. ونتيجة لهذا فإن واقعتين تحدثان فى نقطتين متباعدتين لايمكن أن يكون بينهما ارتباط علّىّ مباشر إذا كان زمنا وقوعهما بحيث أن إشارة ضوئية تُطْلَق فور وقوع إحداهما عند نقطة، لاتصل إلى النقطة الأخرى إلا بعد أن تكون الواقعة الأخرى قد حدثت هناك، والعكس بالعكس. فى هذه الحالة يمكن أن نقول إن الواقعتين متزامنتان. ولما كان من غير الممكن أن يصل أى فعل بأى شكل، من واقعة عند إحدى نقطتى الزمن إلى الواقعة الأخرى عند النقطة الأخرى، فإن الواقعتين لايرتبطان بأى فعلى علّى.

لهذا السبب، فإن أى فعل عن بعد، كمثل قوى الجاذبية بميكانيكا نيوتن، لن يكون متوافقا مع نظرية النسبية الخاصة. كان على النظرية أن تستبدل بمثل هذا الفعل أفعالا من نقطة إلى نقطة - من نقطة معينة، فقط إلى نقاط فى الجوار المتناهى الصغر. والتعبيرات الرياضية الطبيعية جدا لمثل هذا الفعل هى المعادلات التفاضلية للموجات أو المجالات اللامتغيرة بالنسبة لتحويل لورنتس. فمثل هذه المعادلات التفاضلية تستبعد أى فعل مباشر بين الوقائع "المتزامنة".

وعلى هذا فإن بنية المكان والزمان بنظرية النسبية الخاصة تقتضى ضمنا حدا صارما للغاية بين منطقة التزامن، حيث لاينتقل أى فعل، وبين غيرها من المناطق حيث يمكن أن ينتقل فعل مباشر من واقعة إلى أخرى.

من ناحية أخرى، سنجد أن العلاقات اللامحققية بنظرية الكم تضع حدا واضحا على الدقة التى يمكن أن نقيس بها قياسات متزامنة: للمواقع وكميات الحركة، أو الزمن والطاقة. ولما كان الحد الصارم حقا إنما يعنى دقة لانهائية بالنسبة للموقع فى المكان والزمان، فلابد أن تبقى كميات الحركة والطاقات غير محددة على الاطلاق أو لابد فى الواقع لكميات الحركة والطاقات العالية التحكمية أن تحدث باحتمالات واسعة. وعلى هذا فإن أية نظرية تحاول أن تفى بمتطلبات كل من نظرية النسبية الخاصة ونظرية الكم، لابد أن تقود إلى متناقضات رياضية ذاتية، إلى انحرافات فى منطقة الطاقات وكميات الحركة العالية جداً. قد لايبدو تسلسل هذه الاستنباطات ملزما تماما، لأن أية صورية من النمط الذى يهمنا الآن هى صورية غاية فى التعقيد، وربما قدمت بعض الإمكانات الرياضية لتجنب التعارض بين نظرية الكم والنسبية. لكن

البرامج الرياضية التي جُرِّبت حتى الآن قد قادت بالفعل الى انحرافات، نعني إلى تناقضات رياضية، أو لم توف بكل متطلبات النظريتين. ولقد كان من السهل أن نرى أن الصعوبات تأتي بالفعل عن تلك النقطة التي ناقشناها.

كانت مثيرة حقا تلك الطريقة التي قَصُرت بها البرامج التقاربية عن الوفاء بمتطلبات النسبية أو نظرية الكم. وعلى سبيل المثال، ثمة برنامجٌ قاد عندما مافُسِّر بلغة الوقائع الفعلية في المكان والزمان، قاد إلى نوع من انقلاب الزمن. إنه يتنبأ بعمليات فيها تخلق فجأة جسيمات في موقع معين من المكان، تُوفَّر لها الطاقة فيما بعد عن طريق عملية اصطدام أخرى بين جسيمات أولية في موقع آخر. يعرف الفيزيائيون من تجاربهم بأن العمليات من هذا القبيل لاتحدث في الطبيعة، أو على الأقل لاتحدث إذا مافَصَلت بين العمليتين مسافات طويلة في الفضاء والزمن. ثمة برنامج رياضي آخر حاول تجنب الاختلاف من خلال عملية رياضية يقال لها "إعادة التطبيع"، إذ يبدو من الممكن أن ندفع باللانهائيات إلى مكان في الصورية لاتتمكن فيه من التدخل في توطيد العلاقات المحددة تماما بين الكميات التي يمكن أن تلاحَظ مباشرة. والواقع أن هذا البرنامج قد قاد إلى تقدم محسوس في الديناميكا الكهربية الكماتية، لأنه يبرر بعض تفاصيل مثيرة في طيف الهيدروجين لم تكن مفهومة قبلا. على أن التحليل المتفحص لهذا البرنامج الرياضي قد جعل من المرجح أن تصبح تلك الكميات التي لابد أن تفسر في نظرية الكم العادية على أنها احتمالات، أن تصبح تحت ظروف معينة سلبية في صوريةٌ إعادة التطبيع.. وهذا سيحول دون الاستخدام المستقيم للصورية في وصف المادة.

لم نتمكن بعد من الحل النهائي لهذه الصعوبات. سيبزغ الحل يوما ما بعد تجميع مادة تجريبية أدق وأدق عن الجسيمات الأولية المختلفة، عن خلقها ودثورها، عن القوى العاملة بينها. في بحثنا عن الحلول الممكنة للصعوبات، ربما كان علينا أن نتذكر أننا لانستطيع تجريبيا أن نستبعد عمليات انقلاب الزمن التي أشرنا إليها قبلا، إذا ماكانت تتم فقط داخل مناطق صغيرة جدا من الفضاء والزمان خارج مجال أدواتنا التجريبية الحالية. طبيعي أننا سنرغب عن قبول عمليات انقلاب الزمن إذا ماكان ثمة امكانية فيما بعد أن نتعقبها تجريبيا بنفس المعنى الذي نتعقب به الوقائع الذرية العادية. لكن ربما ساعدنا هنا تحليل نظرية الكم وتحليل النسبية في أن نرى المشكلة تحت ضوء جديد.

ترتبط نظرية النسبية بثابت كوني في الطبيعة: سرعة الضوء. يحدد هذا الثابت العلاقة بين

الفضاء والزمان ومن ثم فهو مُضَمَّن فى أى قانون طبيعى يحقق متطلبات لاتغير لورنس. ولغتنا العادية ومفاهيم الفيزياء الكلاسيكية لا تنطبق إلاّ على الظواهر التى تُعتبر سرعة الضوء بالنسبة لها لانهائية، من الناحية العملية.

وعندما نقترب فى تجاربنا من سرعة الضوء، بأن علينا أن نستعد لنتائج لايمكن تفسيرها بهذه المفاهيم.

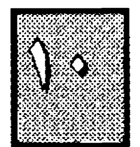
ترتبط نظرية الكم بثابت كونى آخر فى الطبيعة: كم فعل بلانك. إن الوصف الموضوعى للوقائع فى الفضاء والزمان غير ممكن إلا إذا كنا نتعامل مع مواضيع أو عمليات فى مجال واسع نسبيا يُعتبر ثابت بلانك فيه صغيراً إلى أبعد الحدود. فإذا مااقتربت تجاربنا من المنطقة التى يصبح فيها كم الفعل جوهريا، ولجنا إلى تلك الصعوبات مع المفاهيم المعتادة، والتى سبق أن ناقشناها فى الفصول الأولى من هذا الكتاب.

لابد من وجود وجود ثابت كونى آخر فى الطبيعة، هذا أمر واضح لأسباب أبعادية بحتة. تحدد الثوابت الكونية مقياس الطبيعة، الكميات المميّزة التى لايمكن اختزالها إلى كميات أخرى. يلزمنا ثلاث وحدات جوهرية على الأقل لنشكل فئة كاملة من الوحدات. من السهل تفهم هذا من مواضعات كمثل استخدام الفيزيائيين لنظام س - ج - ث (سنتيمتر - جرام - ثانية). فوحدة للطول ووحدة للزمن ووحدة للكتلة تكفى لتشكيل فئة كاملة، لكن لابد أن تكون لدينا ثلاث وحدات على الأقل. قد نستبدل بها أيضا وحدات للطول والسرعة والكتلة، أو وحدات للطول والسرعة والطاقة... إلخ، لكن يلزم وجود ثلاث وحدات أساسية على الأقل. والآن، فإن سرعة الضوء وثابت بلانك للفعل لايوفران إلا وحدتين من هذه. لابد من وجود وحدة ثالثة. وبدون نظرية تتضمن هذه الوحدة الثالثة لايمكن بأية حال أن نحدد الكتل وغيرها من خصائص الجسيمات الأولية. فإذا حكمنا من معرفتنا الحالية عن هذه الجسيمات، فإن أفضل وسيلة لتقديم هذه الثابت الكونى الثالث ستكون هى افتراض طول كونى قيمته نحو ١٠-١٣ سم، أى أقل قليلا من أنصاف أقطار النوايا الذرية للضوء. فإذا ماشكلنا من مثل هذه الوحدات الثلاث تعبيرا يوازى الكتلة فى أبعاده، فستكون لقيمته نفس مرتبة كتل الجسيمات الأولية.

فإذا افترضنا أن قوانين الطبيعة تشمل فعلا ثابتا كونيا ثالثا له بعد الطول ورتبته ١٠-١٣ سم، فلنا أن نتوقع أن تطبّق مفاهيمنا المعتادة فقط على المناطق من الفضاء والزمان

الكبيرة بالنسبة لهذا الثابت الكوني. وعلينا أن ننتظر ظواهر لها صفات كيفية جديدة عندما نقترب في تجاربنا من مناطق في الفضاء والزمان أصغر من أنصاف الأقطار النووية. أما ظاهرة انقلاب الزمن التي أشرنا اليها والتي نتجت فقط عن اعتبارات نظرية، كإمكان رياضي، فقد تنتمي إلى هذه المناطق البالغة الصغر. فإذا كان الأمر هكذا فقد لايمكن ملاحظتها بطريقة تسمح بوصف لها بلغة المفاهيم الكلاسيكية. ولقد يتضح أن هذه العمليات تخضع للترتيب الزمني المعتاد في المدى الذي يمكن فيه ملاحظتها ووصفها باللغة الكلاسيكية.

لكن كل هذه المشاكل هي موضوع بحوث المستقبل في الفيزياء الذرية. وقد نأمل أن يقود المجهود المشترك للتجارب في مجال الطاقة العالية مع التحليل الرياضي، أن يقود يوما إلى تفهم كامل لوحدة المادة، ونعني بالتفهم الكامل أن تظهر صور المادة، بالمعنى الأرسطي، كنتائج، كحلول لبرنامج رياضي مغلق يمثل القوانين الطبيعية للمادة.



اللغة والواقع فى الفيزيقا الحديثة

على طول تاريخ العلم كانت الاكتشافات والأفكار الجديدة تسبب جدلاً علميا، كانت تؤدى إلى كتابات هجومية عنيفة تنتقد الأفكار الجديدة، ولقد كان هذا النقد دائما مفيدا فى تطويرها. لكن الجدل لم يبلغ فى عنفه أبدا مابلغه عند اكتشاف نظرية النسبية، أو - لدرجة أخف بعض الشىء - عند اكتشاف نظرية الكم. فلقد ارتبطت المشاكل العلمية فى كلتا الحالتين بالقضايا السياسية، والتجأ بعض العلماء إلى المناهج السياسية يروجون لآرائهم. لايمكننا تفهم رد الفعل العنيف بالنسبة للتطورات الأخيرة بالفيزياء الحديثة إلا إذا أدركنا أن أسس الفيزياء هنا قد بدأت تتحرك، وأن هذه الحركة قد تسببت فى الشعور بأن أسس العلم ستنهار. وهذا قد يعنى فى نفس الوقت أننا لم نجد بعد اللغة الصحيحة التى نتحدث بها عن الوضع الجديد، وأن التقارير الخاطئة التى نُشرت هنا وهناك فى فورة الحماس للاكتشافات الجديدة قد تسببت فى كل أشكال سوء التفهم. وهذه فى الحق مشكلة جوهرية. فالتقنيات المحسنة فى زماننا تضع فى متناول العلم الجديد نواحى من الطبيعة لايمكن أن توصف بلغة المفاهيم الشائعة. لكن، بأية لغة يمكننا إذن أن نصفها؟ إن أول لغة تقترح نفسها من عملية التوضيح العلمى عادة ماتكون، فى الفيزياء النظرية، لغةً رياضية، البرنامج الرياضى الذى يسمح بالتنبؤ بنتائج التجارب. فلقد يقنع الفيزيائى إذا ماتوفر لديه برنامج رياضى وعرف كيف يستخدمه فى تفسير التجارب. لكن، عليه أيضا أن يتحدث عن نتائجه إلى غير الفيزيائيين الذين لايرضون إلا إذا وضع التفسير فى لغة سهلة يفهمها الجميع. والوصف فى اللغة السهلة، حتى بالنسبة للفيزيائيين، سيكون هو المعيار لدرجة التفهم التى أمكن التوصل إليها. إلى أى مدى يكون مثل هذا التفسير ممكنا على الاطلاق؟ أيمكن أن نتحدث عن الذرة نفسها؟ إنها مشكلةُ لغةٍ مثلما

هى مشكلة فيزياء، وعلى هذا فمة ملاحظات نجدها ضرورية تتعلق باللغة عموما، واللغة العلمية على وجه الخصوص.

شكَّل الانسان اللغة فى عصور ماقبل التاريخ ليستخدمها وسيلة للاتصال وأساسا للتفكير. ونحن لانعرف إلا القليل عن خطوات تشكيلها، لكن اللغة الآن تحوى عددا كبيرا من مفاهيم تعتبر أداة ملائمة لاتصال غير غامض بين الناس بخصوص وقائع الحياة اليومية. ولقد اكتُسبت هذه المفاهيم بالتدرج دون تحليل نقدى، وذلك بممارسة اللغة، فبعد أن تُستخدم الكلمة استخداما كافيا فإنا عادة مانعتقد أننا نعرف معناها. من الحقائق المعروفة أن معنى الكلمات ليس محددا كما يبدو للوهلة الأولى، وأن مجال تطبيقها مجال محدود. فلقد نتحدث مثلا عن قطعة من الحديد أو قطعة من الخشب، لكنا لانتحدث عن قطعة من الماء. إن كلمة "قطعة" لاتصلح للمواد السائلة. وهذا مثال آخر. يحب بوهر فى مناقشاته عن حدود المفاهيم أن يروى القصة التالية: ذهب صبى إلى دكان بقال وفى يده قرش وسأله "هل يمكن أن تعطينى بهذا القرش مزيجاً من الحلوى؟". التقط البقال قطعتين من الحلوى وأعطاهما للصبى قائلا "هاك قطعتان من الحلوى، ويمكنك أن تمزجهما بمعرفتك". وإليك مثال آخر أكثر جدية للعلاقة الملغزة بين الكلمات والمفاهيم. فنحن نستخدم كلمتى "أحمر" و "أخضر"، نستخدمهما حتى لو كنا مصابين بعمى الألوان، بالرغم من أن حدود استخدام هتين الكلمتين لابد أن تختلف عند هؤلاء عنها عند غيرهم من الناس.

أُدرِكت هذه اللامحققية الأصيلة فى معنى الكلمات مبكرا، وجلبت معها الحاجة إلى التعريفات، أو - كما تقول كلمة "تعريف" - الحاجة إلى حدود يُعَرَّف بها الموضع الذى تُستخدم فيه الكلمة والذى لاتستخدم فيه. لكن التعريفات لاتُعطَى إلا بمساعدة مفاهيم أخرى، وعلى هذا فعلينا فى النهاية أن نعتمد على بعض المفاهيم التى تؤخذ كما هى، دون تحليل ودون تعريف.

كانت مشكلة المفاهيم فى اللغة بالفلسفة الاغريقية مبحثا رئيسيا منذ سقراط، الذى كانت حياته - كما يقول العرض الفنى لمحاورات أفلاطون - مناقشةً مستمرة فى محتوى المفاهيم باللغة، وفى القصور فى أساليب التعبير. فلكى يصل أرسطو إلى أساس متين للتفكير العلمى، بدأ فى منطقه بتحليل صور اللغة، البنية الصورية لنتائجه واستنباطاته مستقلة عن محتواها. بهذه الطريقة وصل إلى درجة من التجريد والدقة غير مسبوقة فى الفلسفة الاغريقية. بذلك أسهم إسهاما كبيرا فى التوضيح، فى توطيد نظام بمناهجنا فى التفكير. لقد خلق فعلا الأساس للّغة العلمية.

لكن هذا التحليل المنطقي للغة يتضمن خطر الإفراط فى التبسيط لحد التشويه. فنحن فى المنطق نهتم ببنى خاصة جدا، بعلاقات غير غامضة بين المقدمات والاستنباطات، بنماذج بسيطة من الاستدلال، بينما نهمل كل البنى الأخرى للغة. وهذه البنى الأخرى قد تنجم عن علاقات بين معان معينة للكلمات. فقد يكون هناك معنى ثانوى للكلمة يعبر الذهن بشكل غامض عندما تُسمع الكلمة ولكنه يسهم إسهاما جوهريا فى محتوى الجملة. أما حقيقة أن كل كلمة قد تثير الكثير من النشاط نصف الواعي فى أذهاننا، فقد تُستخدم لتمثل جزءا من الواقع فى اللغة، بشكل أوضح مما يحدث عن استخدام الأنماط المنطقية. وعلى هذا فقد اعترض الشعراء كثيرا على هذا التوكيد، فى اللغة وفى التفكير، على النمط المنطقي، التوكيد الذى قد يجعل اللغة أقل ملاءمة للغرض الذى ابتكرت من أجله - إذا صح تفهمى لآرائهم. ولقد نتذكر مثلا فى "فاوست" جوته ماقاله ميفستوفيليس للطالب الشاب:

لا تبذل زمانك سدى، إنه يمضى سريعا

سيعلمك االمنهج أن تكسب الوقت

لذا أنصحك ياصديقي العزيز

أن تبدأ بدراسة المنطق!

عندئذ سيدرب ذهنك

على أن يصبح ضيقا

وأن يظل حذراً

محدد الآفاق لاينطلق

إلى شعاب جديدة

وستعلمك الأيام

أن ماكنت تفعله تلقائيا

كالأكل والشرب

هو سلسلة من العمليات المتعاقبة: واحد، اثنان، ثلاثة!

والحق أن نسيج التفكير

قد صُنع كمثل قماش الناسج

مدْوَس يحرك ألف خيط

ويندفع المكوك بسرعة غاديا رائحا

وتنساب الخيوط كثيرة دون أن تُرى

وبخبطة واحدة تتجمع ألف عقدة

ثم يأتي الفيلسوف

ويثبت لك أن الأمر لابد أن يكون هكذا

هذا أولا، ثم ذاك ثانيا

ومن ثم فلابد أن تكون هكذا ثالثا ورابعا.

فإذا لم يكن ثمة "أولا" ولا "ثانيا"

فليس ثمة "ثالثا" ولا "رابعا"

هذا مايقدره الطلبة فى كل مكان

لكنا لم نر نساجا ظهر بينهم

إن من يصف ويدرس ماهو حى

يبحث أولا عن الروح ليستبعدها:

فلايبقى بين يديه غير شظايا

تفتقر - يالوعتى - إلى رباط الروح

إن فى هذا وصفا جميلا لبنية اللغة ولضيق أفق الأنماط المنطقية البسيطة.

على أن العلم - من ناحية أخرى - يرتكز على اللغة كوسيلة للاتصال، لاغيرها. ولما كان الغموض يشكل مشكلة ذات أهمية كبيرة فى اللغة، فلابد للأنماط المنطقية أن تلعب دورها. وربما أمكننا أن نعرض الصعوبة المميزة لهذه النقطة كما يلى: إننا نحاول فى العلوم الطبيعية أن نشتق الخاص من العام، أن نفهم الظاهرة كنتيجة لقوانين عامة بسيطة. فإذا ماصيغت القوانين العامة فى صيغة لغوية فإنها لن تحوى إلا عددا محدودا من المفاهيم البسيطة - وإلا لما كان القانون بسيطا ولا كان عاما. من هذه المفاهيم تشتق تشكيلة لانهائية من الظواهر الممكنة، ليس فقط من الناحية الكيفية وإنما أيضا بدقة كاملة بالنسبة لكل التفاصيل. الواضح أن مفاهيم اللغة المألوفة - وهى ماهى من ناحية عدم الدقة، والتعريف المبهم - لن تسمح أبدا بمثل هذه الاشتقاقات. فإذا مانجمت عن المقدمات المعطاة سلسلة من الاستنباطات، فإن عدد

الحلقات الممكنة بالسلسلة يعتمد على دقة هذه المقدمات. وعلى هذا فإن مفاهيم القوانين العامة لابد أن تحدد فى العلوم الطبيعية بدقة باللغة، ولايمكن أن يتم هذا إلا عن طريق التجريد الرياضى.

ولقد نقابل نفس الوضع تقريبا فى علوم أخرى، وذلك بالنسبة للحاجة إلى التعريف الدقيق - كالقانون مثلا. لكن عدد الحلقات فى سلسلة الاستنباطات هنا لايلزم أن يكون كبيرا، فالدقة الكاملة ليست مطلوبة، إنما يكفى التعريف الدقيق نوعاً ما، مصاغا فى لغة مألوفة.

نحاول فى الفيزياء النظرية أن نفهم زمر الظواهر بأن ندخل الرموز الرياضية التى يمكن ربطها بالحقائق، نعنى بنتائج القياس. إننا نستخدم أسماء لهذه الرموز تَمنح علاقاتها بالقياس صورا ذهنية. بذا فإن الرموز ترتبط باللغة. وهذه الرموز فوق ذلك تترابط بنظام متين من التعريفات والبديهيات، وفى النهاية نعبر عن القوانين الطبيعية كمعادلات بين الرموز. الحلول اللانهائية لهذه المعادلات لاتناظر إذن التنويع اللانهائى للظواهر المعنية الممكنة فى هذا الجزء من الطبيعة. بهذه الطريقة يمثل المخطط الرياضى زمرة الظواهر، إلى المدى الذى تمضى إليه العلاقة بين الرموز والقياسات. إن هذا الارتباط هو الذى يسمح بالتعبير عن القوانين الطبيعية باللغة الشائعة، لأننا نستطيع دائما أن نصف تجاربنا - المؤلفة من الأفعال والملاحظات - فى لغة مألوفة.

ومع ذلك فإننا نوسع اللغة أيضا إذ نوسع المعرفة العلمية، فنبتكر مصطلحات جديدة، ونوسع من مجال استخدام المصطلحات القديمة، أو نطبقها بصورة تختلف عن اللغة المألوفة، ولعل فى مصطلحات "الطاقة"، "الكهرباء"، "الانتروبيا"، الأمثلة الواضحة. بهذه الطريقة نطور لغة علمية يمكن أن نقول إنها امتداد طبيعى للغة العادية وقد كيفت للمجالات المضافة من المعرفة العلمية.

دخل الفيزياء خلال القرن الماضى عدد من المفاهيم الجديدة، ولقد تطلب الأمر من العلماء فى بعض الحالات وقتا طويلا قبل أن يتعودوا على استخدامها. وعلى سبيل المثال فإن مصطلح "المجال الكهرومغنطيسى" - الذى كان موجودا بالفعل لحد ما فى عمل فاراداى والذى شكّل فيما بعد أساس نظرية ماكسويل - هذا المصطلح لم يقبله الفيزيائيون بسهولة، فقد وجهوا انتباههم فى المقام الأول إلى الحركة الميكانيكية للمادة - ولقد تضمن ادخال هذا المفهوم فى الحقيقة تغيرا فى الأفكار العلمية أيضا، ومثل هذه التغيرات لاتتم بسهولة.

ومع ذلك فإن كل المفاهيم التى قدمت حتى نهاية القرن الماضى قد شكلت زمرة متماسكة تماما تطبق على مجال واسع من الخبرة، وشكلت ـ مع ماسبقها من مفاهيم ـ لغةً يمكن للعلماء، بل وحتى للتقنيين والمهندسين ـ أن يطبقوها بنجاح فى أعمالهم. لهذه الأفكار الجوهرية التى تشكل أساس هذه اللغة، ينتمى الافتراض بأن ترتيب الوقائع فى الزمن مستقل تماما عن وضعها فى الفضاء، وبأن الوقائع "تحدث" فى الفضاء والزمن ولاعلاقة لها بوجود مراقب أو عدم وجوده. لم يُنْكَر أن لكل ملاحظة أثرا على الظاهرة تحت الفحص، لكن ثمة افتراضا عاما بأننا نستطيع أن نقلل من هذا الأثر كثيرا لو أجرينا تجاربنا باحتراس. والحق أن هذا على مايبدو كان شرطا ضروريا للموضوعية المثالية التى اعتُبرت أساسَ كل العلوم الطبيعية.

وفى هذا الجو الهادى للفيزيقا، انفجرت نظرية الكم ونظرية النسبية الخاصة كحركة مفاجئة فى أسس العلوم الطبيعية ـ إن تكن بطيئة فى البداية تتزايد بالتدريج. بدأت أول المجادلات العنيفة، حول مشاكل الفضاء والزمان التى أثارتها نظرية النسبية. كيف يمكن أن نتحدث عن الوضع الجديد؟ هل علينا أن نعتبر تقلص لورنتس للأجسام المتحركة تقلصا حقيقيا، أم نراه مجرد تقلص ظاهرى؟ هل علينا أن نقول إن بنية الفضاء والزمان تختلف عما كان مفترضا، أم أن الواجب أن نقول فقط إن النتائج التجريبية يمكن أن تربط رياضيا بطريقة تتوافق مع هذه البنية الجديدة، بينما يبقى الفضاء والزمان كما كانا دائما ـ الصيغة الشاملة الضرورية التى فيها تظهر لنا الأشياء؟ كانت المشكلة الحقيقية وراء هذه الخلافات العديدة هى حقيقة أنه لم يكن ثمة لغة يمكن بها أن نتحدث بطريقة مستقيمة عن الوضع الجديد. فاللغة المألوفة ترتكز على مفهومى الفضاء والزمن القديمين، وهذه هى اللغة التى تقدم الوسيلة الوحيدة غير الغامضة للاتصال، عن تصميم المقاييس ونتائجها. ورغم ذلك فقد بينت التجارب أن المفهومين القديمين لايمكن أن يطبقا فى كل مكان.

كانت نقطة البدء الواضحة لتفسير نظرية النسبية هى إذن حقيقة أن النظرية الجديدة تطابق ـ عمليا ـ النظرية القديمة عندما تكون السرعات منخفضة (منخفضة بالنسبة لسرعة الضوء). وعلى هذا، ففى هذا الجزء من النظرية، كان من الواضح كيف يمكن ربط الرموز الرياضية بالمقاييس وبمصطلحات اللغة المألوفة. والواقع أن تحويل لورنتس قد تم اكتشافه من خلال هذا الارتباط. لم يكن ثمة غموض حول معنى الكلمات والرموز فى هذه المنطقة. والحق أن هذا الارتباط كان بالفعل كافيا لتطبيق النظرية على كل مجال البحوث التجريبية المرتبطة

بمشكلة النسبية. وعلى هذا فإن القضايا الخلافية حول تقلص لورنتس "الواقعى" أو "الظاهر"، أو حول تعريف كلمة "متزامن"...إلخ، لم تكن تخص الحقائق وإنما اللغة.

أما بالنسبة للغة فلقد أدركنا بالتدريج أنه ربما كان علينا ألا نصر كثيرا على مبادىء بذاتها. يصعب دائما أن نجد معايير عامة مقنعة يلزم أن نستخدِم لها مصطلحات لغوية وأن نعرف كيفية استخدامها. علينا ببساطة أن ننتظر حتى تتطور اللغة التى تكيف نفسَها بعد فترة للوضع الجديد. والواقع أن هذا التكيف فى نظرية النسبية الخاصة قد حدث فى معظمه بالفعل خلال الخمسين سنة الماضية. لقد اختفى ببساطة الفرق بين التقلص "الواقعى" و "الظاهرى" - مثلا. أما كلمة "متزامن" فتستعمل متوافقة مع التعريف الذى منحه إياها آينشتين، بينما نجد بالنسبة للتعريف الأوسع الذى ناقشناه فى فصل سابق، أن المصطلحَ "على مسافة شبه فضائية" مصطلحٌ شائع الاستعمال.... إلخ.

وفى نظرية النسبية العامة أنكر بعض الفلاسفة وبشدة فكرة الهندسة غير الاقليدية فى الفضاء الواقعى، وبينوا أن منهجنا فى تصميم التجارب هو بالفعل افتراض مسبق فى الهندسة الاقليدية.

والواقع أنه إذا ماحاول حرفى أن يعد سطحا مستويا مضبوطا، فإنه يستطيع أن يفعل ذلك بالطريقة الآتية: يعد أولا ثلاثة أسطح لها تقريبا نفس الحجم وتكون تقريبا مستوية، ثم يحاول أن يجعل كل اثنين من هذه الأسطح الثلاثة يتلامسان بأن يضعهما قبالة بعضهما فى مواقع نسبية مختلفة. يُعَبّر مقدار التلامس الكلى بين الأسطح عن درجة الدقة التى يمكن بها أن نقول إن الأسطح "مستوية". ولن يقنع الحرفى بالأسطح الثلاثة إلا إذا كان التلامس بين كل اثنين منها كاملا فى كل مكان. فاذا ماحدث هذا أمكن لنا أن نثبت رياضيا أن الهندسة الاقليدية تسرى على الأسطح الثلاثة. بهذه الطريقة - هكذا حاجوا - فإن مقاييسنا قد "جعلت" الهندسة الاقليدية صحيحة.

يمكن بالطبع - من وجهة نظر النسبية العامة - أن نجيب بأن هذه الحجة تثبت صحة الهندسة الاقليدية على الأبعاد الصغيرة وحدها، أبعاد أدواتنا التجريبية. ودرجة الدقة التى تحملها فى هذا النطاق عالية للغاية حتى ليمكن دائما أن تُطَبّق العملية التى ذكرناها، لإنتاج الأسطح المستوية. لن نستطيع أن ندرك مايوجد من انحرافات بالغة الدقة عن الهندسة

الاقليدية، لأن الأسطح مصنوعة من مادة ليست صلبة تماما وإنما تسمح بالتشوهات الطفيفية جدا، ولأن مفهوم "التلامس" لايمكن أن يعرف بدقة كاملة. أما بالنسبة للأسطح على المستوى الكونى فإن العملية التى وصفناها لن تسرى. لكن هذا ليس من مشاكل الفيزياء التجريبية.

مرة أخرى سنجد أن نقطة البدء الواضحة للتفسير الفيزيقى للبرنامج الرياضى بالنسبية العامة هى حقيقة أن الهندسة تقترب جدا من الإقليدية بالنسبة للأبعاد الصغيرة - ففى هذه المنطقة تقترب النظرية من النظرية الكلاسيكية. وعلى هذا فإن التلازم هنا بين الرموز الرياضية والقياسات وبين المفاهيم فى اللغة المألوفة سيكون غير مبهم. ومع ذلك فإننا نستطيع أن نتحدث عن هندسة غير إقليدية بالنسبة للأبعاد الضخمة. ويبدو أن الرياضيين - لاسيما جاوس فى جوتنجن - قد فكروا بالفعل فى إمكانية وجود هندسة لا إقليدية فى الفضاء الواقعى وذلك حتى قبل ظهور النسبية العامة بوقت طويل. يقال إن جاوس عندما قام بقياسات جيوديسية دقيقة على مثلث شكّلته جبالٌ ثلاثة - جبل بروكين فى جبال هارتس، وجبل إينسلبرج فى مقاطعة ثورنجيا وجبل هوهنهاجن قرب جوتنجن - يقال إنه راجع قياساته بدقة بالغة ليتأكد من أن مجموع زوايا المثلث الثلاث يساوى ١٨٠ درجة، وأنه قد أخذ فى حسبانه اختلافا قد يثبت إمكانية وجود انحرافات عن الهندسة الاقليدية. والواقع أنه لم يجد أية انحرافات فى حدود دقة قياساته.

تتبع اللغة التى نصف بها القوانين العامة فى نظرية النسبية العامة، تتبع الآن اللغة العلمية للرياضيين. وبالنسبة لوصف التجارب ذاتها يمكننا استخدام المفاهيم المألوفة لأن الهندسة الاقليدية تسرى بدقة كافية فى الأبعاد الصغيرة. تظهر فى نظرية الكم أعقد مشاكل استخدام اللغة. لم يكن لدينا فى البدء أى دليل بسيط نربط به الرموز الرياضية بمفاهيم اللغة الاعتيادية، كان كل مانعرفه فى البداية هو حقيقة أن مفاهيمنا الشائعة لايمكن أن تطبق على بنية الذرة. مرة أخرى بدت نقطة البداية الواضحة للتفسير الفيزيقى للصورية هى اقتراب البرنامج الرياضى لميكانيكا الكم من برنامج الميكانيكا الكلاسيكية، وذلك فى الأبعاد الأكبر كثيرا من حجم الذرات، وحتى هذا لانستطيع أن نقوله دون بعض التحفظات. فسنجد حتى تحت الأبعادِ الكبيرةِ العديدَ من الحلول للمعادلات الكماتية النظرية، والتى لانظير لها فى الفيزياء الكلاسيكية، تظهر فى هذه الحلول ظاهرة "تداخل الاحتالات" كما ذكرنا فى الفصول السابقة، وهذه ظاهرة لاتوجد فى الفيزياء الكلاسيكية. وعلى هذا، فلن يكون تافها على الاطلاق - حتى

داخل حدود الأبعاد الضخمة ـ ذلك الارتباطُ بين الرموز الرياضية والقياسات والمفاهيم المألوفة. ولكي نصل إلى مثل هذا الارتباط غير الملتبس علينا أن ندخل في اعتبارنا ملمحا آخر من ملامح المشكلة. علينا أن نلاحظ أن النمط الذي تعالجه مناهج ميكانيكا الكم هو في الحقيقة جزء من نظام أكبر (حدوده العالم بأسره)، أنها تتفاعل مع هذا النظام الأكبر، ولابد أن نضيف أن الخصائص الميكروسكوبية للنظام الأكبر مجهولة ـ إلى حد كبير على الأقل. لاشك أن هذا وصف صحيح للوضع الواقعي. ولاستحالة أن يكون هذا النظام موضوع قياس وتفحصات نظرية، فإنه لن ينتمي إلى عالم الظواهر مالم يكن يتفاعل مع مثل هذا النظام الأرحب، الذي يمثل المراقب جزءا منه. والتفاعل مع النظام الأكبر هذا بخصائصه الميكروسكوبية غير المحددة يقدم إذن إلى وصف النظام (الكماتي ـ النظري والكلاسيكي) عاملا احصائيا جديدا. وفي الحالة الحدية للأبعاد الكبيرة يحطّم هذا العاملُ الاحصائي آثارَ و "تداخل الاحتمالات" حتى ليقترب البرنامج "الكماتي ـ الميكانيكي" الآن من البرنامج الكلاسيكي في الوضع الحدي. وعلى هذا يصبح الارتباط عند هذه النقطة بين رموز نظرية الكم ومفاهيم اللغة الاعتيادية غير مبهم، ويصبح هذا الارتباط كافيا لتفسير التجارب. أما المشاكل الباقية فتهم اللغة لاالوقائع، لأنها تنتمي إلى مفهوم "الواقعة" الذي يمكن وصفه باللغة الاعتيادية.

لكن مشاكل اللغة هنا خطيرة حقا. إننا نود أن نتحدث بشكل ما عن بنية الذرات، وليس فقط عن "الوقائع" ـ وهذه الأخيرة قد تكون مثلا البقع السوداء على لوحة فوتوغرافية أو قطيرات الماء في غرفة سحابية. لكنا لانستطيع أن نتحدث عن الذرات بلغتنا المألوفة.

يمكن أن نستمر في التحليل الآن بطريقتين مختلفتين. فقد نسأل: أية لغة للذرات قد تطورت بين الفيزيائيين خلال الثلاثين سنة التي مرت منذ صياغة ميكانيكا الكم. أو قد نصف محاولات تحديد لغة علمية دقيقة تتوافق مع البرنامج الرياضي.

لإجابة السؤال الأول قد نقول إن مفهوم التتام الذي قدمه بوهر إلى تفسير نظرية الكم قد شجع الفيزيائيين على استخدام لغة غامضة، أن يستخدموا المفاهيم الكلاسيكية بطريقة مبهمة بعض الشيء تتفق مع مبدأ اللامحققية، أن يطبقوا بالتعاقب مفاهيم كلاسيكية مختلفة تقود إلى تناقض إن استخدمت متزامنة. بهذه الطريقة يمكننا أن نتحدث عن المدارات الإلكترونية، عن موجات المادة وكثافة الشحنة، عن الطاقة وكمية الحركة.... إلخ، مدركين دائما حقيقة أن لهذه المفاهيم مجالا محدودا جدا من التطبيق. فإذا ماقاد هذا الاستخدام الغامض غير النظامي

للُغة إلى صعوبات، فعلى الفيزيائى أن ينسحب إلى البرنامج الرياضى وعلاقته غير الغامضة مع الوقائع التجريبية.

واستخدامنا للغة هكذا يرضى من أوجه شتى، فهو يذكرنا باستخدام للُغةِ مشابه فى الحياة اليومية أو فى الشعر. إننا ندرك أن وضع التتام لايقتصر على العالم الذرى وحده، إننا نقابله عندما نتفكر فى قرار وفى الدوافع وراء قرارنا، أو عندما نُخَيَّر بين أن نستمتع بالموسيقى أو أن نحلل بنيتها. من ناحية أخرى سنجد أن المفاهيم الكلاسيكية، عندما تقدم بهذا الشكل، تستبقى دائما غموضا مؤكدا، هى لاتكتسب فى علاقتها بالواقع غير نفس الأهمية الاحصائية لمفاهيم الثرموديناميكا فى تفسيرها الاحصائى. وعلى هذا فقد يفيد أن نقدم مناقشة قصيرة لهذه المفاهيم الاحصائية الثرموديناميكية.

يبدو أن مفهوم "درجة الحرارة" فى الثرموديناميكا الكلاسيكية إنما يصف وجها موضوعيا من أوجه الواقع، خصيصةً موضوعية للمادة. يسهل علينا فى حياتنا اليومية بمساعدة الترمومتر أن نعرف مانعنيه بدرجة حرارة قطعة من المادة. لكنا إذا حاولنا أن نعرف ماتعنيه حرارة ذرة، حتى فى الفيزياء الكلاسيكية، فسنقع فى ورطة عويصة. الواقع أننا لانستطيع أن نربط فكرة "درجة حرارة الذرة" هذه بأية خصيصة واضحة المعالم للذرة، وعلينا أن نربطها - جزئيا على الأقل - بمعرفتنا القاصرة عنها. يمكننا أن نربط قيمة الحرارة ببعض التوقعات الاحصائية المعينة عن خصائص الذرة، لكن سيصعب على مايبدو أن نعرف ما إذا كان لنا أن نسمى التوقع موضوعيا. إن تعريف مفهوم "درجة حرارة الذرة" لايشبه إلا مفهوم "المزج" فى قصة الصبى الذى اشترى مزيجا من الحلوى.

بنفس الشكل سنجد فى نظرية الكم أن كل المفاهيم الكلاسيكية، عندما تطبق على الذرة، لها من التحديد مثل ما "لدرجة حرارة الذرة". هى ترتبط بالتوقعات الاحصائية، ولا يصبح التوقع معادلا لليقين إلا فيما ندر. مرة أخرى - وكما فى الثرموديناميكا الكلاسيكية - يصعب أن نسمى التوقع موضوعيا. ربما أسميناه مَيْلاً موضوعيا أو إمكانا موضوعيا، أو "بوتنشيا" بالمعنى الأرسطى. والحق أننى أعتقد أن اللغة التى يستعملها الفيزيائيون بالفعل عندما يتحدثون عن الوقائع الذرية، تحدث فى أذهانهم أفكارا مشابهة لمفهوم "البوتنشيا". وعلى هذا تعوَّد الفيزيائيون بالتدريج على ألا يعتبروا المدارات الإلكترونية... إلخ واقعاً، وإنما نوعا من "البوتنشيا". لقد كَيفت اللغةُ نفسَها بالفعل - إلى حد ما على الأقل - لهذا الوضع الحقيقى.

لكنها ليست لغة دقيقة يمكن أن نستخدمها فى النماذج المنطقية السوية. هى لغة تنتج صورا فى الذهن، تصطحب معها معنى، يقول إن الصور ليس لها إلا ارتباط غامض بالواقع، إنها تمثل مجرد اتجاه نحو الواقع.

قاد غموض هذه اللغة المستخدمة بين الفيزيائيين إلى محاولات لتعريف لغة أخرى دقيقة تتبع أنماطا منطقية محددة تكون على انسجام كامل مع البرنامج الرياضى لنظرية الكم. ويمكن تلخيص المحاولات التى قام بها بيركهوف ونويمان، ثم فايتسيكر مؤخرا - فى القول إنه من الممكن أن يفسر البرنامج الرياضى لنظرية الكم على أنه امتداد أو تحوير للمنطق الكلاسيكى. هناك فى المنطق الكلاسيكى مبدأ جوهرى بالتحديد يتطلب التحوير: إذ يَفترض المنطق الكلاسيكى أنه إذا كان للتعبير أى معنى على الإطلاق فلابد أن يكون هو أو نقيضه صحيحا. فمن بين التعبيرين: "توجدهنا منضدة" و "لاتوجد هنا منضدة" لابد أن يكون الأول أو الثانى صحيحا، وليس ثمة امكانية ثالثة. يجوز ألاَّ نعرف إن كان التعبير أو نقيضه هو الصحيح، لكن تعبيراً منهما سيكون فى "الواقع" صحيحا.

علينا فى نظرية الكم أن نحور قانون "ليس ثمة امكانية ثالثة". طبيعى أننا نستطيع أن نجادل فورا ضد أى تحوير لهذا المبدأ الجوهرى بالقول إن هذا المبدأ مفترض فى اللغة الشائعة، وأن علينا على الأقل أن نتحدث عن تحويرنا النهائى للمنطق فى اللغة المألوفة، وعلى هذا يصبح من التناقض الذاتى أن نصف فى لغة مألوفة برنامجا منطقيا لاتلائمه اللغة المألوفة. على أن فايتسيكر قد أبرز هنا أن لنا أن نميز مستويات مختلفة للغة.

ثمة مستوى يتعلق بالموضوعات - بالذرات مثلا أو الإلكترونات. وثان يتعلق بالتقارير عن الموضوعات. وثالث قد يتعلق بالتقارير عن التقارير عن الموضوعات... إلخ. من الممكن إذن أن توجد نماذج منطقية مختلفة عند المستويات المختلفة. صحيح أننا لابد أن نرجع فى النهاية الى اللغة المألوفة، ومن ثم إلى النماذج المنطقية الكلاسيكية، لكن فايتسيكر يقترح أن المنطق الكلاسيكى قد يكون بنفس الشكل قَبْلِيًّا للمنطق الكماتى، مثلما الفيزياء الكلاسيكية لنظرية الكم. المنطق الكلاسيكى يضمَّن إذن كحالة حدية فى المنطق الكماتى، لكن الأخير يشكل النموذج المنطقى الأكثر عمومية.

التحوير المطلوب للنموذج المنطقي الكلاسيكي يتعلق إذن بالمستوى الأول الخاص بالمواضيع. دعنا نتأمل ذرة تتحرك داخل صندوق مغلق به حائط يقسمه الى قسمين متساويين. بالحائط ثقب صغير جدا يمكن للذرة أن تعبر من خلاله. ستوجد الذرة تبعا للمنطق الكلاسيكي في النصف الأيسر أو في النصف الأيمن من الصندوق. وليس ثمة امكانية ثالثة. على أننا في نظرية الكم لابد أن نسلم - إذا كان لنا أن نستعمل أصلا كلمتي "ذرة" و "صندوق" - بأن هناك إمكانات أخرى كل منها مزيج غريب من الإثنين الأولين. إن هذا أمر ضروري لتفسير تجاربنا. دعنا مثلا نراقب الضوء الذي يستطير بسبب الذرة. يمكننا اجراء تجارب ثلاث: في الأولى تكون الذرة محبوسة (عن طريق اغلاق الثقب مثلا) في النصف الأيسر من الصندوق، وسنقيس بها كثافة توزيع الضوء المستطار. في التجربة الثانية تكون الذرة محبوسة في النصف الأيمن فنقيس ثانية الضوء المستطار. وفي الأخيرة سنترك للذرة حرية التحرك في الصندوق بأكمله لنقيس مرة ثالثة كثافة توزيع الضوء المستطار. فإذا بقيت الذرة دائما في النصف الأيسر أو الأيمن من الصندوق، فإن التوزيع الأخير للكثافة لابد أن يكون مزيجا (تحدده نسبة الوقت الذي تقضيه الذرة في كل من النصفين) من توزيعي الكثافة الأولين. لكن هذا - تجريبيا - ليس صحيحا على وجه العموم. إن توزيع الكثافة في الواقع يحوره "تداخل الاحتمالات". ولقد ناقشنا هذا بالفعل.

للتغلب على هذا الوضع أدخل فايتسيكر مفهوم "درجة الحقيقة". فبالنسبة لأي تعبير بسيط في أي خيار مثل "توجد الذرة في النصف الأيسر (أو الأيمن) من الصندوق" - هناك عدد مركب يُعَرَّف بأنه مقياس "لدرجة الحقيقة". فإذا كان العدد هو واحداً فمعنى ذلك أن التعبير حقيقي، وإذا كان صفرا كان التعبير خاطئا. لكن ثمة قيما أخرى ممكنة. والمربع المطلق للعدد المركب يمثل احتمال أن يكون التعبير صحيحا، وحاصل جمع احتمالي طرفي الخيار ("الأيسر" أو "الأيمن" في حالتنا هذه) لابد أن يساوي الوحدة. لكن كل زوج من الأعداد المركبة - الخاصة بطرفي الخيار - يمثل تبعا لتعريف فايتسيكر "تعبيرا" لابد أن يكون حقيقيا إذا كان للأعداد بالضبط هذه القيم. فالعددان - على سبيل المثال - يكفيان لتحديد كثافة توزيع الضوء المستطار في تجربتنا. فإذا سمحنا باستخدام مصطلح "تعبير" بهذه الطريقة فمن الممكن أن نقدم مصطلح "تتام" بالتعريف التالي: كل تعبير لايتطابق مع أي من تعبيري الخيار (وفي حالتنا هما التعبير "توجد الذرة بالنصف الأيسر" و "توجد الذرة بالنصف الأيمن من الصندوق") يسمى متمما لهذين التعبيرين، وتكون قضية وجود الذرة في اليسار أو في اليمين بالنسبة لكل تعبير

متمم أمرا غير محسوم. لكن المصطلح "غير محسوم" لايعادل أبدا المصطلح "غير معلوم". فالمصطلح "غير معلوم" إنما يعنى أن الذرة توجد "واقعيا" فى النصف الأيسر أو الأيمن، لكنا لانعرف أين توجد. أما مصطلح "غير محسوم" فيشير إلى وضع مختلف، لايفصح عنه الا تعبير تام.

وهذا النموذج المنطقى العام، والذى لايمكن أن نصف تفاصيله هنا، يتوافق بدقة مع الصورية الرياضية لنظرية الكم، إنه يشكل الأساس للغة دقيقة يمكن استخدامها فى وصف بنية الذرة. لكن تطبيق مثل هذه اللغة يثير عددا من المشاكل العويصة، سنناقش منها اثنين: العلاقة بين "المستويات" المختلفة للغة، والنتائج بالنسبة للأنطولوجيا التحتية.

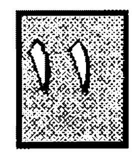
والعلاقة بين المستويات المختلفة للغة فى المنطق الكلاسيكى هى علاقة تناظر متكافئة. فالتعبيران "توجد الذرة فى النصف الأيسر" و "من الصحيح أن الذرة توجد فى النصف الأيسر" ينتميان منطقيا إلى مستويين مختلفين. والتعبيران فى المنطق الكلاسيكى متكافئان تماما، نعنى أنهما سويا اما أن يكونا صحيحين أو زائفين. فلايمكن أن يكون أحدهما صحيحا والآخر زائفا. أما فى النموذج المنطقى للتتام فسنجد العلاقة أكثر تعقيدا. فصحة أو عدم صحة التعبير الأول يتضمن لايزال صحة أو عدم صحة الثانى. لكن عدم صحة التعبير الثانى لايفيد ضمنا عدم صحة الأول. فإذا كان التعبير الثانى غير صحيح، فقد لايكون وجود الذرة فى النصف الأيسر قد حُسم بعد، إذ لايلزم بالضرورة أن تكون الذرة فى النصف الأيمن. لايزال ثمة تكافؤ كامل بين مستويى اللغة بالنسبة لصحة التعبير، لكن ليس بالنسبة لعدم صحته. من هذه العلاقة يمكن أن نفهم استمرار بقاء القوانين الكلاسيكية فى نظرية الكم: فحيثما يمكن استنباط نتيجة لا لبس فيها فى تجربة عن طريق تطبيق القوانين الكلاسيكية، لزم أيضا أن تظهر النتيجة فى نظرية الكم، وستصح تجريبيا.

كان الهدف الأخير لمحاولة فايتسيكر هى تطبيق النماذج المنطقية المحورة أيضا فى المستويات الأعلى للغة. لكنا لانستطيع مناقشة هذه القضايا هنا.

أما المشكلة الأخرى فتختص بالأنطولوجيا التى تشكل أساس النماذج المنطقية المحوَّرة. فإذا كان ثمة زوج من الأعداد المركبة يمثل "تعبيرا" بالمعنى الذى شرحناه حالا، فلابد من وجود "حال" أو "وضع" فى الطبيعة يكون فيه التعبير صحيحا. وسنستعمل نحن كلمة "حال". أطلق فايتسيكر على "الأحوال" المناظرة للتعبيرات المتتامة اسم "أحوال المَعيَّة". وهذا المصطلح

يصف الوضع وصفا صحيحا، فالواقع أنه يصعب أن نسميها "أحوالاً مختلفة"، لأن كل حال يتضمن أيضا ولحد ما "أحوال المعية" الأخرى. يشكل مفهوم "الحال" هذا تعريفا أوليا يختص بأنطولوجيا نظرية الكم. سنرى على الفور أن استخدامنا هذا لكلمة "حال" ـ لاسيما في مصطلح "حال المعية" ـ يختلف كثيرا عن الأنطولوجيا المادية العادية، حتى لقد نشك في صلاحية المصطلح للاستخدام. من ناحية أخرى سنجد أننا إذا أخذنا كلمة "حال" على أنها تصف إمكانيةً ما، لاواقعا ـ بل لقد نستبدل حتى كلمة "امكانية" بكلمة "حال" ـ عندئذ يصبح مفهوم "إمكانيات المعية" مقبولا حقا، لأن الامكانية قد تتضمن أو تتراكب مع إمكانات أخرى.

من الممكن أن نتجنب كل هذه التعريفات الصعبة والتميزات إذا اقتصرت اللغة على وصف الوقائع، نعني نتائج التجارب. لكننا إذا رغبنا في التحدث عن الجسيمات الذرية نفسها، فعلينا إما أن نستخدم البرنامج الرياضي كإضافة وحيدة إلى اللغة الاعتيادية، أو أن نقرنها بلغة تستخدم منطقاً محوراً أو منطقاً غير معروف تعريفا جيدا. في التجارب عن الأحداث الذرية، نحن نتعامل مع الأشياء والوقائع، مع ظواهر لها من الواقعية مثل مالظواهر الحياة اليومية. لكن الذرات أو الجسيمات الأولية ذاتها ليس لها نفس الواقعية. إنها تشكل عالما من الامكانات والاحتمالات، لا عالما من الأشياء والوقائع.



دور الفيزيقا الحديثة
في تطور التفكير البشرى

ناقشنا فى الفصول السابقة التضمينات الفلسفية للفيزياء الحديثة، كى نبين أن هذا الفرع الحديث جدا من العلم يلمس فى نقاط كثيرة اتجاهات قديمة جدا فى الفكر، أنه يمس بعضا من أقدم المشاكل إنما من اتجاه جديد. ربما كان من الصحيح على وجه العموم أن أكثر التطورات خصبا فى تاريخ التفكير البشرى يحدث فى تلك النقاط التى يلتقى عندها خطان مختلفان من الفكر. قد تنشأ جذور مثل هذه الخطوط فى جوانب مختلفة تماما من الثقافة البشرية، فى أزمان مختلفة أو بيئات ثقافية مختلفة أو تقاليد دينية مختلفة، ومن ثم فإذا ما التقت فعلا، نعنى إذا ماكانت على الأقل قريبة من بعضها للحد الذى يسمح بنشوء تفاعل حقيقى بينها، عندئذ فقد نأمل فى أن تظهر تطورات جديدة مثيرة. والفيزياء الذرية ـ كجزء من العلم الحديث فى زماننا هذا ـ تتغلغل بالفعل داخل تقاليد ثقافية مختلفة كثيرا. فهى لاتُدَرَّس فقط فى أوربا ودول الغرب ـ حيث تنتمى إلى النشاط التقليدى فى العلوم الطبيعية ـ وإنما أيضا فى الشرق الأقصى، بدول مثل اليابان والصين والهند، ولها مالها من خلفيات ثقافية متباينة تماما، وفى الروسيا، حيث ظهر فى زماننا هذا أسلوب جديد للتفكير، أسلوب جديد ينتمى الى التطورات العلمية الأوروبية فى القرن التاسع عشر كما ينتمى الى تقاليد روسية أخرى مختلفة تماما. ولايمكن بالطبع أن يكون الهدف من المناقشة التالية هو التنبؤ بالنتائج المحتملة للّقاء بين أفكار الفيزياء الحديثة والتقاليد الأقدم، لكن قد يمكننا تحديد النقاط التى قد يبدأ عندها التفاعل بين الأفكار المختلفة.

نحن مؤكدا لا نستطيع أن نفصل عملية اتساع الفيزيقا الحديثة هذه عن الاتساع العام للعلوم الطبيعية، وللصناعة والهندسة وللطب... إلخ، ونعنى عموما للحضارة الحديثة بكل أرجاء العالم. إن الفيزيقا الحديثة هى مجرد حلقة واحدة فى سلسلة طويلة من الوقائع بدأت منذ أعمال بيكون وجاليليو وكبلر، ومن التطبيقات العملية للعلوم الطبيعية فى القرنين السابع عشر والثامن عشر. كان الارتباط بين العلوم الطبيعية والعلوم التقنية منذ البداية هو ارتباط العون المتبادل: فالتقدم فى العلوم التقنية، وتحسين الأدوات، وابتكار الأجهزة التقنية الجديدة، كل هذا قد وفر الأساس لمعرفة تجريبية بالطبيعة أكثر وأكثر دقة، كما أن التقدم فى تفهم الطبيعة ثم الصياغة الرياضية للقوانين الطبيعية قد فتحا الطريق إلى تطبيقات جديدة لهذه المعرفة فى العلوم التقنية. فابتكار التلسكوب مثلا قد مكّن الفلكيين من قياس حركة النجوم بشكل أكثر دقة عن ذى قبل، ومن هنا حدث تقدم ملحوظ فى علم الفلك وفى الميكانيكا. من ناحية أخرى كان للمعرفة الدقيقة بالقوانين الميكانيكية قيمتها الضخمة فى تحسين الأدوات الميكانيكية وفى بناء المحركات.... إلخ. بدأ الانتشار الكبير لهذا المزيج من العلوم الطبيعية والتقنية عندما نجح البعض فى تطويع بعض قوى الطبيعة لخدمة الانسان. فالطاقة المخزنة فى الفحم على سبيل المثال قد تؤدى بعض العمل الذى كان الانسان يقوم به قبلا.. ومن الممكن أن نعتبر الصناعات التى نشأت عن هذه الامكانات الجديدة امتدادا طبيعيا للحرف القديمة، فعمل الآلة يشبه فى نقاط كثيرة العمل اليدوى البشرى. كما يمكن اعتبار العمل فى مصانع الكيماويات امتداداً لصانع الصباغة والصيدلة فى الأزمنة القديمة. ثم تطورت فيما بعد فروع جديدة تماما من الصناعة لانظير لها فى الحرف القديمة، كالهندسة الكهربائية مثلا. لقد مكّن تغلغل العلم إلى المناطق الأبعد من الطبيعة، مكّن المهندسين أن يستخدموا قوى للطبيعة كانت قبلا غير معروفة أو تكاد، وكان للمعرفة الدقيقة بهذه القوى فى صورة صياغة رياضية للقوانين التى تحكمها، كان أن شكلت الأساس المتين لتشييد كل أنواع الآلات.

قاد النجاح الهائل لمزيج العلوم الطبيعية والتقنية إلى تفوق واضح لتلك الأمم والدول والمجتمعات التى ازدهر فيها هذا النوع من النشاط البشرى، وكنتيجة طبيعية لهذا، فقد أخذت به حتى بعض الأمم التى ـ بحكم تقاليدها ـ لم تكن تنزع إلى العلوم الطبيعية والتقنية. وأكملت وسائلُ الاتصال والنقل لحديثة فى نهاية الأمر، عمليةَ انتشار الحضارة التقنية. ولاشك أن هذه العملية قد غيرت أوضاع الحياة على الأرض تغيرا جذريا ـ وسواء قبلنا أو لم نقبل، أسميناها تقدما أم أسميناها خطرا، فإن علينا أن ندرك أنها قد مضت داخل القوى البشرية لأبعد من

مجال تحكمنا. ولربما اعتبرناها عملية بيولوجية على أوسع نطاق تسطو فيها البنى الفعالة للكائن البشرى على نصيب أكبر من المادة، وتحوله إلى صورة ملائمة لزيادة عشيرة بنى البشر.

تنتمى الفيزياء الحديثة إلى أحدث فروع هذا التطور. أما جوهر هذا التطور فقد عرضه كأوضح مايكون ابتكارُ الأسلحة الذرية - أكثر النتائج بروزا، للأسف. من ناحية أخرى، فقد أظهرت بجلاء أننا لايمكن أن ننظر بالنظرة المتفائلة وحدها إلى التغيرات التى يستحضرها مزيج العلوم الطبيعية والتقنية. لقد بررت هذه التغيراتُ - جزئيا على الأقل - وجهاتِ نظر من حذّرونا دائما من أخطار مثل هذه التحولات الجذرية فى الأوضاع الطبيعية للحياة. من ناحية أخرى سنجدها وقد أجبرت الدول أو الأفراد الذين حاولوا البقاء بعيدا عن هذه الأخطار، أجبرتهم على أن يوجهوا انتباههم إلى هذا التطور الحديث، فالواضح أن القوة السياسية ممثلة فى القوة العسكرية إنما ترتكز على امتلاك الأسلحة الذرية. والمؤكد أنْ ليس من مهام هذا الكتاب أن يناقش بالتفصيل التضمينات السياسية للفيزيقا النووية. لكنا نستطيع على الأقل أن نخطَّ بضع كلمات عن هذه المشاكل، لأنها أول مايجول بالذهن إذا ماذُكرت الفيزياء الذرية.

الواقع أن ابتكار الأسلحة الجديدة، لاسيما الأسلحة الثرمونووية، قد غيرت التركيب السياسى للعالم تغيرا جذريا. لم يصب التغير الحاسم فقط مفهوم الأمم أو الدول المستقلة، لأن كل أمة لاتمتلك مثل هذه الأسلحة لابد أن تعتمد بشكل أو بآخر على العدد القليل جدا من الدول التى تنتجها بكميات وفيرة، وإنما سنجد أيضا أن المجازفة بحرب واسعة النطاق باستخدام هذه الأسلحة قد أصبح نوعا سخيفا من الانتحار. وعلى هذا فإنا كثيرا مانسمع وجهة النظر المتفائلة التى تقول إن خطر الحرب قد زال، وأنها لن تقع مرة أخرى. لكن هذا للأسف تبسيط مخل للغاية. فالعكس صحيح. إن استحالة الحرب بالأسلحة النووية قد تعمل كحافز على الحروب الصغيرة. فإذا مااقتنعت أمة أو جماعة سياسية بحقها التاريخى أو الأخلاقى فى أن تفرض بالقوة تغيرا ما فى الوضع الراهن، فستشعر أن استخدام الأسلحة التقليدية لغرضها لن يجلب وراءه أية مخاطر كبيرة، ستفترض أن العدو بالتأكيد لن يلجأ الى الأسلحة النووية، ذلك أن هذا العدو، المخطىء تاريخيا وأخلاقيا، لن يجرؤ على حرب واسعة النطاق. وهذا الوضع سيغرى بدوره الدول الأخرى أن تقول إنه إذا ماشَن عليها المعتدون حربا صغيرة فسيكون الرد بالأسلحة النووية. الواضح إذن أن الخطر باق. من الجائز جدا - بعد

نحو عشرين أو ثلاثين عاما من الآن - أن يحدث في العالم تغيرات ضخمة تخفض كثيرا أو تمنع تماما خطر الحروب الكبيرة، خطر استخدام كل الموارد التقنية لإبادة الخصم. لكن الطريق إلى هذا الوضع الجديد يمتلىء بالمخاطر الهائلة. لابد أن ندرك - كما أدركنا في كل الأزمنة السابقة - أن مايبدو شرعيا لجانب - تاريخيا وأخلاقيا - قد يبدو باطلا للجانب الآخر. ولن يكون بقاء الوضع على ماهو عليه هو الحل الصحيح دائماً. على العكس من ذلك. فقد يكون من المهم أن نجد وسيلة سلمية للتعديل إلى أوضاع جديدة. وقد يصعب في الكثير من الحالات أن نصل إلى أى قرار عادل. وعلى هذا فربما لايكون من التشاؤم أن نقول إننا لانستطيع أن نتجنب الحرب الكبيرة إلا إذا كانت كل الجماعات السياسية المختلفة مستعدة للتخلي عن بعض ماتراه حقا واضحا لها - وذلك بالنظر إلى حقيقة أن موضوع الحق والباطل أمر تتباين فيه رؤية الطرفين. هذه مؤكدا ليست وجهة نظر جديدة. إنها في الحقيقة تطبيق لذلك الموقف الذى علمتنا إياه الأديان العظيمة، من قرون بعيدة.

أثار ابتكار الأسلحة النووية أيضا مشاكل جديدة تماما للعلم والعلماء. غدا الأثر السياسي للعلم أكبر بكثير مما كان له قبل الحرب العالمية الثانية. ولقد وضعت هذه الحقيقة على كاهل العالِم مسئوليةً مزدوجة، لاسيما العالم الفيزيائي. فهو إما أن يتخذ دورا نشطا في إدارة بلده بشأن أهمية العلم للمجتمع، وهنا سيواجِه في نهاية المطاف مسئوليةَ اتخاذ قرارات ذات وزن رهيب، تمضي لأبعد من دائرة بحثه الضيقة وعمله الجامعي الذى تعوّد عليه. أو أن ينسحب طوعا من الاشتراك في اتخاذ القرارات، وهنا سيظل مسئولا عن أية قرارات خاطئة اتُّخِذت كان في مقدوره، لو أراد، أن يمنعها إذا لم تكن الحياة الناعمة للعلماء قد راقته. الواضح أن مهمة العلماء أن يُخبروا حكوماتهم بالتفصيل عن الخراب الذى لم يسبق له مثيل الذى سيحل إذا نشبت حرب بالأسلحة النووية. ثم ان العلماء كثيرا مايُطلب منهم الاشتراك في وضع القرارات الجليلة من أجل السلام العالمي. لكني لابد أن أعترف، بالنسبة لهذا الأمر الأخير، أنني أبدا لم أجد معنى لأية تصريحات من هذا القبيل. قد تبدو هذه القرارات إثباتا طيبا لحسن النية، لكن كل من يتحدث عن السلام دون أن يحدد بدقة شروطه، لابد أن نرتاب فورا في أنه إنما يعني ذلك النوع من السلام الذى يفيده هو وجماعته - وهذا بالطبع سلام لاجدوى منه على الاطلاق. إن أى اعلان مخلص للسلام لابد أن يتضمن قائمة بما نحن مستعدون أن نضحي به من أجل الحفاظ على السلام. وليس لدى العلماء - كقاعدة - السلطةُ للادلاء بتصريحات من هذا النوع.

يستطيع العالم فى نفس الوقت أن يقوم بما يمكنه لتشجيع التعاون الدولى فى هذا المجال. إن الأهميةَ القصوى لارتباط العديد من الحكومات بالبحث فى الفيزياء النووية فى أيامنا هذه، وحقيقةَ أن مستوى العمل العلمى مايزال يتباين كثيرا بين الدول المختلفة، إنما تزكيان التعاون الدولى فى هذا المجال. ولقد يتجمع شباب العلماء من الدول المختلفة فى معاهد بحثية يجرى بها نشاط كبير فى مجال الفيزياء الحديثة. عندئذ سيشجع العمل المشترك فى المشاكل العلمية الصعبة التفاهمَ المتبادل بينهم. ثمة حالة حدثت فى منظمة جنيف أمكن فيها بالمجهود المشترك التوصل إلى اتفاق بين عدد من الدول لتشييد معمل عام ولبناء التجهيزات التجريبية الغالية الثمن للبحث فى الفيزياء النووية. سيساعد مثل هذا النوع من التعاون بالتأكيد فى بناء موقف عام نحو مشاكل العلم - بل وشائع حتى لأبعد من المشاكل العلمية البحتة - بين أفراد الجيل الجديد من العلماء. طبيعى أننا لانعرف مسبقا ماذا سينمو عن البذور الذى بُذرت بهذه الطريقة عندما يعود العلماء إلى بيئاتهم الأصلية ويشاركون فى تقاليدهم الثقافية. لكنا لانشك فى أن تبادل الأفكار بين شباب العلماء من الأقطار المختلفة ومن الأجيال المختلفة فى كل قطر سيساهم فى الوصول، دون الكثير من التوتر، إلى وضع متزن مابين القوى التقليدية القديمة وبين الحاجات الملحة للحياة المعاصرة. ثمة ملمح من ملامح العلم يجعل منه الأكثرَ ملاءمةً لتوطيد أول رابطة قوية بين التقاليد الثقافية المختلفة. ذلك هو حقيقة أن الأحكام النهائية حول قيمة أى عمل علمى، حول ماهو صحيح وماهو خاطىء فيه، لاتعتمد على سلطة إنسان. فلقد يتطلب الأمر أحيانا سنينا طويلة قبل أن نصل إلى حلٍّ لمشكلة، قبل أن نستطيع أن نميز الصحيح من الخاطىء، ولكنا نستطيع فى النهاية أن نفصل فى القضية، ويكون القرار من صنع الطبيعة لامن صنع أية جماعة من العلماء. لذا تنتشر الأفكار العلمية بين المهتمين بالعلم بطريقة تختلف تماما عن طريقة انتشار الأفكار السياسية.

وبينما يمكن للأفكار السياسية أن تحظى بتأثير مقنع على الجماهير الغفيرة من الناس لمجرد أنها تتوافق - أو يبدو أنها تتوافق - مع الاهتمامات السائدة لديهم، فإن الأفكار العلمية تنتشر فقط بسبب كونها صحيحة. ثمة معايير موضوعية وغائية تؤكد صحة التعبير العلمى.

وكل ماقيل هنا عن التعاون الدولى وتبادل الأفكار لاشك ينطبق أيضا على أى فرع من أفرع العلم الحديث. إنه ليس مقصورا بالتأكيد على الفيزياء الذرية. فالفيزيقا الحديثة - فى هذا الخصوص - ليست سوى واحد من أفرع كثيرة من العلم. وحتى لوكانت تطبيقاتها التقنية

تضفي وزنا خاصا لهذا الفرع ـ الأسلحة والاستخدام السلمي للطاقة الذرية ـ فليس ثمة من سبب لكي نعتبر أن للتعاون الدولي في هذا المجال أهميةً تفوق أهميته في أي مجال آخر. لكن علينا الآن أن نناقش ملامح الفيزياء الحديثة التي تختلف جوهريا عن التطور السابق في العلوم الطبيعية، وعلينا إذن أن نعود مرة أخرى إلى التاريخ الأوربي لهذا التطور الذي نشأ عن مزيج العلوم الطبيعية والتقنية.

ناقش رجال التاريخ كثيرا قضية ماإذا كانت ثورة العلوم الطبيعية بعد القرن السادس عشر هي مجرد نتيجة طبيعية لما سبقها من اتجاهات في التفكير البشري. يمكننا أن نقول إن ثمة اتجاهات معينة في الفلسفة المسيحية قد أدت إلى مفهوم مجرد للغاية عن الإله، أنها قد وضعت الإله بعيدا فوق العالم حتى ليبدأ الفرد في تأمل العالم الخارجي، دون أن يرى الإله أيضا ـ في الوقت نفسه ـ في العالم. ولقد نعتبر أن القسمة الديكارتية هي الخطوة الأخيرة في هذا التطور. وقد نقول أيضا إن كل الخلافات اللاهوتية بالقرن السادس عشر قد سببت استياء عاما بالنسبة لمشاكل لم تُحسم بالعقل وتعرضت للصراعات السياسية في ذلك الزمن، وأن هذا الاستياء قد وجه الاهتمام إلى المشاكل البعيدة تماما عن الجدل اللاهوتي. وربما كان لنا أيضا أن نشير إلى ذلك النشاط الهائل، تلك الروح الجديدة التي دبت في التجمعات الأوربية خلال عصر النهضة. على أية حال، فلقد ظهرت في تلك الحقبة سلطة جديدة مستقلة تماما عن الدين المسيحي والفلسفة المسيحية والكنيسة، تلك هي سلطة الخبرة، سلطة الواقع التجريبي. يمكننا أن نرجع بهذه السلطة إلى أقدم الاتجاهات الفلسفية، سنجدها مثلا في فلسفة أوكام، وضَنْس سكوطس، لكنها لم تصبح قوة حيوية للنشاط الإنساني إلا من القرن السادس عشر. لم يفكر جاليليو فقط في الحركات الميكانيكية، في البندول والحجر الساقط، إنما حاول بالتجربة أن يعرف، كميا، كيف تحدث هذه التحركات. والمؤكد أن هذا النشاط الجديد لم يكن في بداياته انحرافا عن الدين المسيحي التقليدي. على العكس، لقد نتحدث عن نوعين من الوحي الإلهي: أحدهما في الانجيل مكتوب، والآخر في كتاب الطبيعة موجود. كتب الانسان الكتاب المقدس، ومن ثم فقد كان عرضةً للخطأ، أما الطبيعة فهي التعبير المباشر لأغراض الإله.

ارتبط التأكيد على الخبرة بتغير بطيء تدريجي في وجه الواقع. فما نسميه الآن المعنى الرمزي للشيء، كان يعتبر في العصور الوسطى ـ بشكل ما ـ واقعا أوليا للشيء. لقد تغير

وجه الواقع فى اتجاه مايمكن أن ندركه بحواسنا. فما يمكن أن نراه ونلمسه قد أصبح الواقع الأولى. ومن الممكن أن نربط مفهوم الواقع هذا بنشاط جديد: فى مقدورنا أن نجربَ ونرى واقع الأشياء. من السهل أن نرى أن هذا الموقف يعنى تحول الذهن البشرى إلى مجال عريض من الإمكانات الجديدة، ومن السهل أن نفهم لماذا وجدت الكنيسة فى هذه الحركة الجديدة الأخطار لا الآمال. وتمثل المحاكمة الشهيرة لجاليليو بسبب آرائه فى النظام الكوبرنيكى بداية صراع استمر أكثر من قرن. فى هذا الخلاف يمكن لممثلى العلوم الطبيعية أن يحاجوا بأن التجربة تقدم حقيقة لاتقبل الجدل، أنه ليس ثمة لسلطة بشرية أن تقرر مايحدث بالفعل فى الطبيعة، أن القرار هو قرار الطبيعة، أو ـ فى هذا المعنى ـ هو قرار الإله. أما ممثلو الدين التقليدى فقد حاجوا بأن الاهتمام البالغ بالعلم المادى، بما ندركه بحواسنا، سيؤدى إلى أن نفقد الصلة بالقيم الجوهرية للحياة الانسانية، بذلك الجزء من الواقع الأسمى من العالم المادى. هاتان الحجتان لاتتلاقيان، لم تحسم المشكلة إذن باتفاق أو حكم.

فى غضون ذلك كانت العلوم الطبيعية تتقدم لتصل إلى صورة للعالم المادى أوضح وأوسع. كان لهذه الصورة فى الفيزيقا أن توصف باستخدام تلك المفاهيم التى نسميها فى أيامنا هذه مفاهيم الفيزيقا الكلاسيكية. يتألف العالم من أشياء فى المكان والزمان، والأشياء تتألف من مادة، والمادة تُنتج القوى وتتأثر بها. تنشأ الوقائع عن التفاعل بين المادة والقوى، فكل واقعة هى نتيجة وعلة لوقائع أخرى. فى نفس الوقت تغير موقف الانسان من الطبيعة: من موقف تأملى إلى موقف برجماتى. فنحن لانهتم بالطبيعة كطبيعة، إنما نسأل عما يمكن أن نفعل بها. وعلى هذا فقد تحولت العلوم الطبيعية إلى علوم تقنية، وارتبط كل تقدم فى المعرفة بالفائدة العملية التى تعود علينا منه. ولم يكن هذا صحيحا فقط فى الفيزياء، فلقد كان الموقف مشابها فى الكيمياء والبيولوجيا. وأسهم نجاح المناهج الجديدة فى الطب وفى الزراعة فى نشر الاتجاهات الجديدة.

بهذه الطريقة طور القرن التاسع عشر فى النهاية إطارا للعلوم الطبيعية غاية فى الصلابة، إطارا شكَّل العلم مثلما شكَّل وجهة النظر العامة لكتل غفيرة من البشر. دعمت هذا الاطارَ المفاهيمُ الجوهرية للفيزياء الكلاسيكية، الفضاء والزمان والمادة والعلّية. كان مفهوم الواقع يسرى على الأشياء أو الوقائع التى يمكن أن ندركها بحواسنا أو التى يمكن ملاحظتها عن طريق الأدوات الدقيقة التى وفرها العلم التقنى. كانت المادة هى الواقع الأولى، وصُوِّر التقدم العلمى على أنه حملة غزو لعالم المادة. كانت المنفعة هى شعار تلك المرحلة.

لكن هذا الاطار كان من الضيق والصرامة حتى ليصعب أن نجد فيه مكانا للكثير من مفاهيم لغتنا، المفاهيم التى انتسبت دائما إلى جوهر اللغة ذاته، مثل مفهوم الذهن ومفهوم روح الانسان ومفهوم الحياة. لم يعد فى الإمكان إدخال الذهن إلى الصورة العامة إلا كمرآة لعالم المادة. وعند دراسة خصائص هذه المرآة فى علم السيكولوجيا، فثمة مايغرى العلماء دائما - إذا كان لى أن أمضى فى التشبيه - أن يهتموا بخصائصها الميكانيكية لا البصرية، بل ولقد حاولوا حتى هنا أن يطبقوا مفاهيم الفيزياء الكلاسيكية، مفهوم العلية فى المقام الأول. بنفس الشكل كانت الحياة تفسر كعملية فيزيقية كيماوية تتحكم فيها القوانين الطبيعية وتحكمها العلِّيّة تماما. ولقد وفر مفهوم التطور لداروين شواهد كثيرة لهذا التفسير. وبصورة خاصة، كان من الصعب أن نجد فى هذا الاطار مكانا لتلك الأجزاء من الواقع التى كانت موضوع الدين التقليدى ثم تحولت الآن لتصبح خيالات. وعلى ذلك فقد ثار عداء صريح ضد العلم فى تلك الدول الأوروبية التى تعودت تتبع الأفكار حتى نتائجها، وحتى فى غير هذه من الدول كان ثمة اتجاه متزايد نحو اللامبالاة بمثل هذه القضايا. لم يُستثن من هذا الاتجاه إلا القيم الأخلاقية بالدين المسيحى، على الأقل فى ذلك الوقت. كانت الثقة فى المنهج العلمى وفى التفكير العقلى قد حلت محل سواها مما يحمى الذهن البشرى.

فإذا عدنا الآن إلى مساهمات الفيزياء الحديثة، فلقد نقول إن أهم ماأحدثته نتائجها من تغيرات هو القضاء على الإطار الصارم من مفاهيم القرن التاسع عشر. والحقيقة أن ثمة الكثير من المحاولات قد بُذلت للتخلص من هذا الاطار، الذى بدا أضيق من أن يسمح بتفهم الأجزاء الجوهرية من الواقع، لكن أحدا لم يتمكن من معرفة أوجه الخطأ فى المفاهيم الجوهرية - كمفهوم المادة، والفضاء، والزمن، والعلية - التى نجحت تماما على طول تاريخ العلم. لم يكن غير البحث التجريبى نفسه - ذلك الذى يجرى بكل الأدوات المنقحة التى أمكن للعلم التقنى تقديمها - وغير تفسيره الرياضى، مايستطيع أن يوفر الأساس لتحليل نقدى لهذه المفاهيم - ولقد نقول: أن يفرض التحليل النقدى بالقوة - لينتهى فى آخر المطاف بانهيار ذلك الإطار الصارم.

ولقد وقع هذا الانهيار على مرحلتين مميزتين: كانت الأولى - ومن خلال نظرية النسبية - هى اكتشاف أن المفاهيم الأساسية مثل الفضاء والزمن، يمكن أن تُغيَّر، بل ويجب فى الحقيقة أن تُغير بسبب الخبرة الجديدة. لم يكن هذا التغير يتعلق بمفهومى الفضاء والزمن فى اللغة

المألوفة، الغامضين بعض الشيء، لكنه كان يختص بصياغتهما الدقيقة فى اللغة العلمية لميكانيكا نيوتن، التى اعتُبرت - خطأً - نهائية. أما المرحلة الثانية فقد كانت مناقشة مفهوم المادة الذى فرضته النتائج التجريبية الخاصة ببنية الذرة. ربما كانت فكرة واقعية المادة هى أقوى أجزاء ذلك الإطار الصارم لمفاهيم القرن التاسع عشر. كان من الضرورى أن تحور هذه الفكرة، على الأقل، بالنسبة للخبرة الجديدة. ومرة أخرى بقيت المفاهيم دون أن تمس فى اللغة المألوفة. لم يكن ثمة صعوبة فى التحدث عن المادة أو عن الوقائع أو عن الواقع، عند وصف التجارب الذرية ونتائجها. لكن الاستقراء العلمى لهذه المفاهيم فى أصغر أجزاء المادة لايمكن أن يتم بالطريقة البسيطة التى تقترحها الفيزياء الكلاسيكية، إن يكن قد حَدَّد - خطأً - النظرة العامة إلى مشكلة المادة.

بادىء ذى بدء، علينا أن نعتبر هذه النتائج الجديدة تحذيرا بألا نفرض تطبيقات المفاهيم العلمية قسرا فى ميادين لاتنتمى إليها. فتطبيق مفاهيم الفيزيقا الكلاسيكية، فى الكيمياء مثلا، كان خطأً. وعلى هذا فإننا لانميل اليوم إلى التأكيد بإمكان تطبيق مفاهيم الفيزياء، بل وحتى مفاهيم نظرية الكم، فى كل مجال بالبيولوجيا أو غيرها من العلوم. على العكس من ذلك، سنحاول أن نبقى الباب مفتوحا لدخول مفاهيم جديدة، حتى فى تلك الأفرع من العلم التى أفادت المفاهيم القديمة فيها كثيراً، فى تفهم الظواهر. وفى تلك المواضع، على وجه الخصوص، التى يبدو أن تطبيق المفاهيم الأقدم فيها يتم قسرا، أو التى تبدو غير كافية تماما للمشكلة، حتى فى هذه، علينا أن نحاول تجنب أى استنباطات متسرعة.

من أهم ملامح تطور وتحليل الفيزياء الحديثة، هناك تلك الخبرة بأن مفاهيم اللغة المألوفة - وبها مابها من غموض التعريف - تبدو أكثر ثباتا عند اتساع المعرفة، مقارنة بالمصطلحات الدقيقة للُغة العلمية، المشتقة عن مجاميع محدودة من الظواهر. وهذا فى الواقع ليس بمستغرب، لأن مفاهيم اللغة الاعتيادية إنما تتشكل عن الاتصال المباشر بالواقع، إنها تمثل الواقع. من الصحيح أنها ليست محددة تماما، ومن ثم فقد تتغير مع الزمن، تماما مثل الواقع نفسه، لكنها لاتفقد أبدا الصلة المباشرة بالواقع. أما المفاهيم العلمية فهى على العكس، قد جُعِلت مثالية. إنها تُشتق من خبرة نحصلّها بأدوات تجريبية محسنة، وهى دقيقة التحديد ببديهياتها وتعريفاتها. ومن خلال هذه التعريفات الدقيقة يمكن أن نربط المفاهيم بالمشروع الرياضى، وأن نشتق رياضيا ذلك التنوع اللانهائى من الظواهر الممكنة فى هذا المجال. لكننا

بالتعريف الدقيق ويجعلها مثالية، نفقد الارتباط المباشر بالواقع. ستظل المفاهيم تناظر الواقع كثيرا فى ذلك الجزء من الطبيعة الذى وُضع تحت البحث، لكنا قد نفقد التناظر فى أجزاء أخرى تشمل مجاميع أخرى من الظواهر.

فإذا ماتذكرنا الثبات الأصيل لمفاهيم اللغة العادية فى عملية التطوير العلمى، فسنجد بعد خبرة الفيزياء الحديثة أن موقفنا نحومفاهيم كالذهن أو روح الانسان أو حياته، أو الإله سيختلف عن موقف القرن التاسع عشر، لأن هذه المفاهيم تنتمى إلى اللغة العادية، ولها بالتالى ارتباط مباشر بالواقع. من الصحيح أننا سندرك أيضا أن هذه المفاهيم ليست محددة تماما بالمعنى العلمى، وأن تطبيقها قد يقود إلى تناقضات مختلفة، لكن علينا فى الوقت الحالى أن نأخذها كما هى دون تحليل، عارفين أنها تلمس الواقع. ولقد يكون من المفيد فى هذا الخصوص أن نتذكر أننا حتى فى أكثر فروع العلم دقة - فى الرياضة - لا نستطيع أن نتجنب استخدام مفاهيم تتضمن تناقضات. فمن المعروف مثلا أن مفهوم اللانهاية يؤدى إلى تناقضات أمكن تحليلها. لكن من المستحيل أن نبني الأجزاء الأساسية للرياضة دون هذا المفهوم.

كان الاتجاه العام للتفكير البشرى بالقرن التاسع عشر ينحو إلى الثقة المتزايدة فى المنهج العلمى وفى المصطلحات العقلية الدقيقة، كما قاد إلى ارتيابية عامة فيما يتعلق بمفاهيم اللغة العادية التى لاتلائم الاطار المغلق للتفكير العلمى - مفاهيم الدين على سبيل المثال. لقد تسببت الفيزياء الحديثة بطرق شتى فى زيادة هذه الارتيابية، لكنها فى نفس الوقت حولتها ضد المغالاة فى تقدير المفاهيم العلمية الدقيقة، ضد وجهة نظر مغالية فى التفاؤل بالنسبة للتقدم على وجه العموم، ثم فى النهاية ضد الارتيابية نفسها. والارتيابية ضد المفاهيم العلمية الدقيقة لاتعنى ضرورة وجود حد معين لتطبيق التفكير العقلى. على العكس، فربما جاز لنا القول إن القدرة البشرية على الفهم قد تكون بمعنى ما لامحدودة. لكن المفاهيم العلمية الموجودة لاتغطى دائما إلا مجالا محدودا للغاية من الواقع. أما الجزء الباقى الذى لم يُفهم بعد فهو لامتناه. فحيثما تقدمنا من المعروف إلى المجهول، فقد نأمل أن نفهم، لكن قد يكون علينا أيضا أن نتعلم فى نفس الوقت معنى جديدا لكلمة "الفهم". إننا نعرف أن أى فهم لابد أن يرتكز فى النهاية على اللغة العادية ففيها فقط يمكننا التأكد من أننا نلمس الواقع. ومن ثم فلابد أن نرتاب فى الارتيابية، فيما يتعلق بهذه اللغة الطبيعية ومفاهيمها الجوهرية. وعلى هذا فقد نستخدم هذه المفاهيم كما كانت تستعمل طول وقت. بهذه الطريقة ربما كانت الفيزياء الحديثة قد فتحت الباب لنظرة أوسع على العلاقة بين الذهن البشرى والواقع.

يتوغل هذا العلم الحديث إذن فى أيامنا هذه إلى مناطق أخرى من العالم حيث التقاليد الثقافية تختلف تماما عن الحضارة الأوروبية. وهناك لابد أن يظهر أثر هذا النشاط الجديد فى العلوم الطبيعية والتقنية بشكل أقوى بكثير من أوروبا، لأن تغير ظروف الحياة الذى استغرق فى أوروبا قرنين أو ثلاثة سيتم هناك خلال بضعة عقود. ولنا أن نتوقع أن يبدو هذا النشاط الجديد فى مواقع كثيرة كتدهور فى الثقافة القديمة، كموقف بربرى قاس يقلق التوازن الحساس الذى عليه ترتكز السعادة البشرية. لايمكن تجنب مثل هذه النتائج، ولابد أن تؤخذ كسمة من سمات زماننا هذا. لكن، حتى هنا، سنجد أن انفتاح الفيزيقا الحديثة قد يساعد إلى حد ما فى التوفيق بين التقاليد القديمة والاتجاهات الحديثة فى الفكر. وعلى سبيل المثال فإن ماقامت به اليابان من إسهام علمى كبير فى مجال الفيزياء النظرية منذ الحرب الأخيرة قد يعتبر دليلا على وجود علاقة ما بين الأفكار الفلسفية فى تقاليد الشرق الأقصى وبين الجوهر الفلسفى لنظرية الكم. وقد يكون من الأبسط أن نكيف أنفسنا مع مفهوم الواقع الكماتى النظرى إذا لم نتخذ طريقة التفكير المادية الساذجة التى كانت تعم أوروبا فى العقود الأولى من هذا القرن.

طبيعى أنه لايصح أن نسىء فهم مثل هذه الملاحظات فنعتبرها تهوينا من شأن الدمار الذى قد يحدث، أو الذى قد حدث، للتقاليد الثقافية القديمة تحت تأثير التقدم التقنى. لكن، لما كان هذا التطور قد تجاوز سيطرة القوى البشرية من زمان بعيد، فعلينا أن نقبله كملمح من أهم ملامح عصرنا، وعلينا أن نحاول أن نربطه للمدى الممكن بالقيم البشرية التى كانت دائما هدف التقاليد القديمة، الثقافية والدينية. وربما كان لنا أن نستشهد بالقصة التالية: كان هناك حاخام (رابى) يهودى مشهود له بالحكمة، إليه يلجأ الناس طلبا للنصيحة. زاره يوما رجل أصابه اليأس بسبب كل ماجرى حوله من تغيرات، وأخذ يحكى فى أسى عما وقع له من أضرار من جراء مايسمى بالتقدم التقنى. صاح مستنكرا "مافائدة كل هذه التقنيات المزعجة بالنسبة للقيم الحقة للحياة؟" أجابه الرابى "قد يكون الأمر كذلك، لكنك لو اتخذت الموقف الصحيح فسيمكنك أن تتعلم من كل شىء". رد الزائر "كلا! ماذا يمكن أن أتعلم من أشياء تافهة كقطارات السكة الحديد أو التليفون أو التلغراف؟". أجاب الرابى "إنك مخطىء. فمن القطارات يمكنك أن تتعلم أنك قد تفقد كل شىء بسبب لحظة تأخير. ومن التلغراف يمكنك أن تعرف أن لكل كلمة ثمنا. ويمكنك من التليفون أن تتعلم أن ماتقوله هنا قد يُسمع هناك". فَهِم الزائر مايعنيه الرابى ومضى.

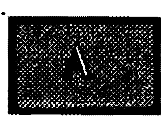
وأخيرا، فلقد تغلغل العلم الحديث فى تلك المناطق الواسعة من عالمنا المعاصر الذى نشأت فيه المذاهب الحديثة، من عقود قليلة، كأساس لمجتمعات جديدة قوية. فى هذا العالم يواجه العلم الحديث محتوى المذاهب ـ التى تعود إلى الآراء الفلسفية الأوروبية للقرن التاسع عشر (هيجل وماركس) ـ كما يواجه أيضا ظاهرة العقيدة المتزمتة. ولما كان من الضرورى أن تلعب الفيزياء دورا كبيرا فى هذه الدول بسبب تطبيقاتها العملية، فمن الصعب على مَنْ تفهم الفيزياء الحديثة ومعناها الفلسفى أن يتجنب الشعور بضيق هذه المذاهب. وعلى هذا فقد يحدث هنا التفاعل بين العلم والاتجاه العام للفكر. طبيعى أنه لايجوز أن نبالغ فى تقدير أثر العلم، لكن انفتاح العلم الحديث قد يُسهّل حتى على الجماهير الغفيرة أن ترى أن المذاهب قد لايكون لها ماافتُرض من أهمية بالنسبة للمجتمع. بهذه الطريقة فإن أثر العلم الحديث قد يزكى موقفا متسامحا، ومن ثم فقد تثبت قيمته.

من ناحية أخرى سنجد أن لظاهرة العقيدة المتزمتة وزنا أكبر بكثير من بعض الأفكار الفلسفية للقرن التاسع عشر. لايمكننا أن نتجاهل حقيقة أنه من النادر أن تكون لدى الغالبية العظمى من الناس أية أحكام واضحة خاصة بصحة أفكار معينة عامة أو مذاهب. وعلى هذا فإن كلمة "العقيدة" قد لاتعنى بالنسبة لهذه الأغلبية "إدراك حقيقة شىء ما" وإنما تفهم على أنها "اعتبار هذا أساسا للحياة". يمكننا بسهولة أن نفهم أن هذا الضرب الثانى من العقيدة هو الأكثر رسوخا وثباتا، وأنه يصمد حتى أمام المتناقضات فى الخبرة المباشرة، ومن ثم فلاتهزه المعرفة العلمية المضافة. يوضح تاريخ العقدين الماضيين أمثلة كثيرة على أن البعض قد يعتنقون الضرب الأخير من العقيدة لدرجة تبدو منافية تماما للعقل، فلاينتهى إلا بالوفاة. ويعرفنا العلم والتاريخ أن هذا الضرب من العقيدة قد يصبح خطرا جسيما على من يعتنقه، لكن قد لايكون لمثل هذه المعرفة أية جدوى، إذ ليس مايدلنا على وسيلة لتجنبها. وعلى هذا فسنجد أن مثل هذه العقيدة دائما ماتنتمى إلى القوى المحركة فى تاريخ البشر. فإذا نظرنا إلى التقاليد العلمية للقرن التاسع عشر، فقد نأمل أن تُبنى كل المعتقدات على التحليل العقلى لكل حجة، على تروٍّ دقيق، وأن الواجب ألا يوجد أصلا هذا الضرب الثانى من العقيدة ـ الذى تؤخذ فيه حقيقة ما، واقعية أو ظاهرية، أساسا للحياة. إن التروى الحذر المبنى على الحجج العقلية الخالصة قد يجنبنا الكثير من الأخطاء والأخطار، لأنه يسمح بإعادة التكيف مع الأوضاع الجديدة ـ وقد يكون هذا شرطا ضروريا للحياة. فإذا رجعنا إلى خبرتنا مع الفيزياء الحديثة، فمن السهل أن نرى ضرورة أن يوجد دائما تتام جوهرى بين التروى وبين القرار.

سيصعب دائما فى القرارات العملية بحياتنا أن نعالج كل الحجج فى صف قرار أو ضده، وعلى ذلك فإننا عادة مانتصرف على أساس بَيِّنة غير كافية. نتخذ القرار فى النهاية بإهمال كل الحجج ـ مافهمناه منها وماقد يظهر بالتروى ـ وبالتوقف عن أى تأمل أبعد. وقد يكون القرار نتيجة التروى، لكنه سيكون فى نفس الوقت متمما للتروى، هو يستبعد التروى. إن عنصر اللامعقولية المحتوم هذا موجود حتى فى أهم قرارات حياتنا. والقرار فى حد ذاته ضرورى، فلابد من وجود ثمة ماتركن إليه، مبدأ ما يوجه أفعالنا. وبدون موقف واضح تفقد أفعالنا كل قيمتها. وعلى هذا فلايمكن أن نتفادى القول بأن ثمة حقيقة ـ واقعية أو ظاهرية ـ تشكل أساس الحياة. ولابد أن نسلم بهذه الحقيقة فيما يتعلق بمن يدينون بمبدأ يختلف عن مبدئنا.

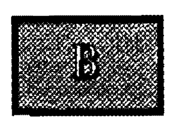
فإذا تساءلنا عما نستنبطه من كل ماقيل عن العلم الحديث، فربما كان لنا أن نقرر أن الفيزياء الحديثة ليست سوى فرع واحد ـ إن يكن مميزا للغاية ـ من عملية تاريخية عامة تتجه إلى توحيد وتوسيع عالمنا المعاصر. وستقود هذه العملية فى ذاتها إلى تناقض تلك التوترات الثقافية والسياسية التى تصنع أكبر أخطار زماننا. لكنها تصطحب معها عملية أخرى تعمل فى اتجاه مضاد. لقد أدركت معظم الجماهير عملية التوحيد هذه، وهذا سيؤدى إلى إثارة كل قوى المجتمعات الثقافية الموجودة لتحاول أن تضمن أكبر دور ممكن لقيمها التقليدية فى الوضع النهائى للتوحيد. بهذا ستتزايد التوترات، اذ أن العمليتين المتنافستين مرتبطتان ارتباطا وثيقا ببعضهما بعضا حتى أن أى تكثيف فى عملية التوحيد ـ عن طريق التقدم التقنى الحديث مثلا ـ سيكثف أيضا الصراع على التأثير فى الوضع النهائى، وبذا يضيف إلى قلقلة الوضع الانتقالى. ربما كان دور الفيزياء صغيرا فى عملية التوحيد الخطرة هذه. لكنها تفيد فى نقطتين حاسمتين تماما فى توجيه التحرك نحو نوع من التطور أكثر هدوءا. فهى تبين أولا أن استخدام السلاح فى العملية سيكون بمثابة كارثة. وهى ثانيا، ومن خلال انفتاحها على كل أنواع المفاهيم، تثير الأمل فى تعايش الكثير من التقاليد الثقافية المختلفة، عند الوضع النهائى للتوحيد، وفى تجميع المحاولات البشرية المختلفة فى شكل جديد من التوازن بين الفكر والعمل، بين النشاط والتأمل.

معجم بالمصطلحات الانجليزية
(انجليزى ــ عربى)

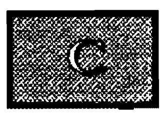


absolute	مطلق
abstract	مجرد
abstraction	تجريد
acceleration	تعجيل
acoustics	صوتيات
actuality	حقيقة واقعة
agnosticism	لاأدرية
ambiguity	ابهام ـ غموض
amplitude	سعة
angular momentum	العزم الزاوي
annihilation	دثور
antinomy	نقيضة
anti-thesis	نقيض القضية
a posteriori	بَعْدى
apparent	ظاهرى
a priori	قَبْلى
arbitrary	تحكمى

argument	حجة
assertion	تقرير
assumption	افتراض
atomists	ذريون
at rest	فى حالة سكون
attitude	موقف
attribute	صفة الجوهر
authority	سلطة
axiom	بديهية
axiomatic system	نسق استنباطى

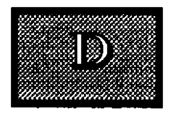


becoming	الصيرورة
being	الموجود
belief	اعتقاد
binding energy	طاقة الترابط
brilliance	سطوع

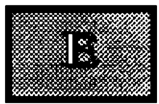


canonical	مقنن
cartesian	ديكارتى
causality	عِلّية
causation	سببية
cause	عِلّة
certainty	يقين

chaos	عماء
charge	شحنة
cloud chamber	غرفة سحابية
coexistent state	حالة المَعِيّة
coincidence	تزامك
collision	تصادم
complementarity	تتام
complex number	عدد مركب
concept	مفهوم
conception	ادراك ذهنى
conceptionalism	تصورية
concreta	عينيات
concreteness	عينية
condition	شرط
configuration space	فضاء التشكيل
constructs	مفترضات
content	محتوى
context	سياق
contraction	تقلص
contradictions	تناقضات
control	تحكم
conventions	مواضعات
correspondence	تناظر
criterion	معيار
culture	ثقافة

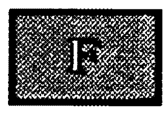


damping	تضاؤل
decay	اضمحلال
deduction	استنباط
deductive	استنباطى
deflection	انحراف
deliberation	تروى
determination	عزم
deterministic	حتمانى
dialectic materialism	المادية الجدلية
diffraction	حيود
dimensional	أبعادى
disintegration	اضمحلال
division	قسمة
doctrine	مذهب
dogma	عقيدة
dualism	ثنائية



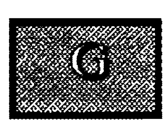
eigen value	جذر كامن
elastic vibration	اهتزاز المرونة
elastic wave	موجة مرنة
electronic shell	قشرة الكترونية
empeiria	التجربة
empirical	تجريبى
energy	طاقة

entendement	فهم
entity	كيان
entropy	انتروبيا
episteme	معرفة
epistemology	ابستمولوجية
equality	مساواة
equivalence	تكافؤ
essential	جوهرى
eternal	أزلى
event	حادثة - واقعة
evidence	بيّنة
existence	وجود
ex nihilo	من العدم
expansion	مفكوك
experience	خبرة
extension	امتداد - توسيع
extrapolation	استقرار

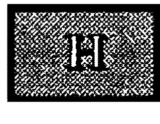


fact	واقعة
factual	واقعى
fatalism	جبرية
final	غائى
finite	متناهى
fission	انشطار
force	قوة

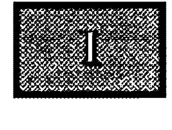
formal	صوري
formalism	صورية
frequency	تردد
function	دالة



geodetical	جيوديسي
ground state	الحالة الأرضية (العادية)



harmonics	توافقيات
hypothesis	فرض



idea	فكرة
idealism	مثالية
illata	مستنبطات - مستدلات
illusion	وهم
image	صورة ذهنية
implied	مُضْمَر
inconsistency	تناقض ذاتي
incident (light)	ساقط
indeterminacy	لاحتمية
induction	استقراء

inequality	لاتساوى
infinite	لامتناهى
inherent	متأصل
in itself	فى ذاته
innate	فطرى
institutional	نظامى
intensity	شدة
interdependent	متساند
interference	تداخل
interpretation	تفسير
intrinsic	أصيل
intuition	حدس
invariance	لاتغير
irreversible	لاعكوس

J

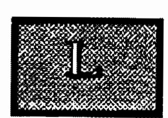


judgement	حكم



K

knowledge	معرفة



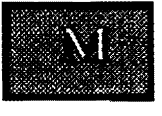
lattice	شبيكة
lepton	لبتون

lifetime — عمر

limiting case — حالة حدية

line spectrum — طيف خطى

logic — منطق



mass — كتلة

materialism — مادية

mind — ذهن

momentum — كمية الحركة

monism — واحدية

monochromatic — موحد اللون

mutability — تحولية

mutually exclusive — متنافيان

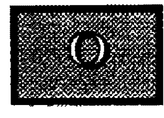
mysticism — تصوف

myth — أسطورة

N

negation — نقيض

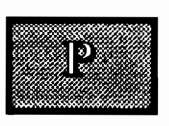
notion — معنى



object — موضوع

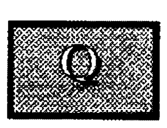
objective — موضوعى

objectivation	تموضع
octahedron	مجسم ثمانى
ontology	أنطولوجيا (علم الوجود)
opinion	رأى
optics	بصريات
orbit	مدار
oscillator	متذبذب

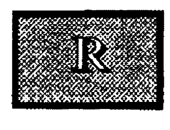


packet	دفقة (أمواج)
paradigm	نموذج ـ مثال
paradox	مفارقة
parameter	مَعْلَم ـ مقياس
parsimony	الاقتصاد فى التفكير
partition	قسمة
pattern	نموذج
percept	مدرك حسى
perception	ادراك حسى
phenomenological	ظاهراتى
physics	فيزيقا ـ فيزياء
pluralism	تعددية
point mass	كتلة نقطية
positivism	وضعية
possibility	امكان
postulate	مسلمة
potentia	بوتنشيا ـ بالقوة

potential	جهد
potential energy	طاقة الوضع
pragmatic	برجماتى
premises	مقدمات
primary	أولى
principle	مبدأ
probability function	دالة الاحتمال
procedure	اجراء
proof	دليل
proposition	قضية



qualitative	كيفى
quantitative	كمى
quantum	كم - كماتى
quantum number	عدد كماتى
quark	كوارك
question	مسألة



radioactive decay	اضمحلال اشعاعى
rational	عقلى
real	واقعى
realism	واقعية
reality	الواقع

reason	عقل
reasoning	استدلال
recognize	يسلم بـ - يدرك
red shift	الازاحة نحو الأحمر
reference frame	اطار مرجعى
reflection	تفكر
reflection point	نقطة الانعكاس
regular solids	المجسمات المنتظمه
relativistic	نسبوى
relativity	النسبية
release of energy	تحرر الطاقة
repulsion	تنافر
res cogitans	الشيء المفكر
res extensa	الشيء الممتد
rest mass	كتلة السكون
revelation	وحى
reversal of time	انقلاب الزمن
reversible	عكوس
rotation	دوران
rule	قاعدة



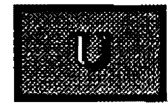
scattering	استطارة
scepticism	ارتيابية
scheme	برنامج
scintillation	وميض

self interest	مصلحة ذاتية
sensation	احساس
set	فئة
shift	إزاحة
simultaneity	تزامن
situation	وضع
space	مكان - حيز
space wave	موجة حيزية
speculation	نظر - تأمل
spherical wave	موجة كروية
spectral lines	خطوط طيفية
spin	لف
state	حالة
statement	تقرير - تعبير
static	ساكن
stationary state	حالة موقوفة
stress	اجهاد
structure (s)	بنية (بنى)
subjective	ذاتي
substance	جوهر
substantative	المحتوى المادى
symbol	رمز
synthetic	تركيبي
systematic	منهجي

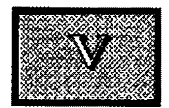
T

tendency	نزعة
term	مصطلح

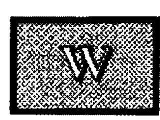
tetrahedron	مجسم رباعى
theme	مبحث
theology	لاهوت
thesis	قضية
thought	فكر
time reversal	انقلاب الزمن
tolerance of ambiguity	ازدواج الدلالة
totality	شمول
traditions	تقاليد
trajectory	مسار القذيفة
transformation	تحول
transient	وقتى - عابر
transmutation	تحول
trans subjective	مايتجاوز الحقيقة
true	حق
truth	حقيقة



ultimate	جوهرى - أولى
uncertainty	اللامحققية
unity	وحدة
unpredictability	لاتنبوءية
utility	منفعة

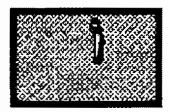


value system	نسق قيمى
variety	تنوع
velocity	سرعة
verification	تحقق
version	صيغة
vibration	اهتزاز
view	صورة - فكرة - رأى
vision	رؤية
void	خلاء
voltage	فلطية



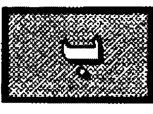
wave	موجة
wave function	دالة موجية
wave packet	دفقة أمواج
world of experience	عالم الشهادة

عربى ـ انجليزى



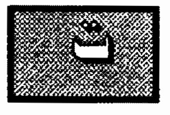
ابستمولوجية	epistemology
أبعادى	dimensional
إجراء	procedure
إجهاد	stress
إدراك حسى	preception
إدراك ذهنى	conception
أدرك	recognize
ارتيابية	scepticism
إحساس	sensation
الإزاحة نحو الأحمر	red shift
ازدواج الدلالة	tolerance of ambiguity
أزلى	eternal
استدلال	reasoning
استطارة	scattering
استقراء	extrapolation, induction
استنباط	deduction
أسطورة	myth

أصيل	intrinsic
اضمحلال	decay, disintegration
اضمحلال إشعاعي	radioactive decay
إطار مرجعي	reference frame
اعتقاد	belief
افتراض	assumption
الاقتصاد فى التفكير	parsimony
امتداد	extension
إمكان	possibility
انتروبيا	entropy
انشطار	deflection
انحراف	fission
انطولوجيا	ontology
انعكاس	reflection
انقلاب الزمن	time reversal
اهتزاز المرونة	elastic vibration
أولى	primary, ultimate



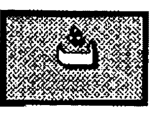
بديهية	axiom
برجماتي	pragmatic
برنامج	scheme
بصريات	optics
بعدى	a posteriori
بنية	structure
بوتنشيا	potentia

بيّنة	evidence

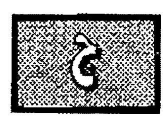


تتام	complementarity
التجربة	empeiria
تجريبى	empirical
تجريد	abstraction
تحرر الطاقة	release of energy
تحقق	verification
تحكم	control
تحكمى	arbitrary
تحول	transformation, transmutation
تحولية	mutability
تداخل	interference
تردد	frequency
تركيبى	synthetic
تروى	deliberation
تزامك	coincidence
تزامن	simultaneity
تصادم	collision
تصاحب	coexistence
تصورية	conceptionalism
تصوف	mysticism
تضاؤل	damping
تعبير	statement
تعجيل	acceleration

pluralism	تعددية
interpretation	تفسير
reflection	تفكر
traditions	تقاليد
assertion, statement	تقرير
contraction	تقلص
equivalence	تكافؤ
objectivation	تموضع
correspondence	تناظر
repulsion	تنافر
contradiction	تناقض
inconsistency	تناقض ذاتي
variety	تنوع
harmonics	توافقيات
extension	توسيع

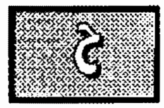


culture	ثقافة
dualism	ثنائية



fatalism	جبرية
eigen value	جذر كامن
potential	جهد
substance	جوهر

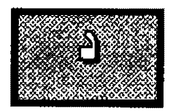
جوهري	essential, ultimate
جيوديسي	geodetical



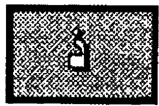
حادثة	event
حالة	state, case
الحالة الأرضية	ground state
حالة حدية	limiting case
حالة المَعيّة	coexistent state
حالة موقوفة	stationery state
حتماني	deterministic
حجة	argument
حدس	intuition
حق	true
حقيقة	truth
حقيقة واقعة	actuality
حكم	judgement
حيود	diffraction



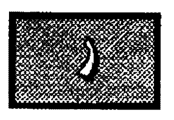
خبرة	experience
خط طيفي	spectral line
خلاء	void



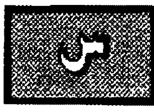
function	دالة
probability function	دالة الاحتمال
wave function	دالة موجية
annihilation	دثور
wave packet	دفقة أمواج
rotation	دوران
proof	دليل
cartesian	ديكارتية



subjective	ذاتي
atomists	ذريون
mind	ذهن

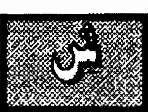


opinion	رأى
symbol	رمز
vision	رؤية

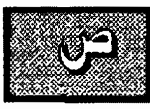


incident (light)	ساقط (ضوء)
static	ساكن

عربى	English
سببية	causation
سرعة	velocity
سطوع	brilliance
سعة	amplitude
سلطة	authority
سلم بـ	recognize
سياق	context

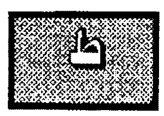


عربى	English
شبيكة	lattice
شحنة	charge
شدة	intensity
شرط	condition
شمول	totality
الشيء المفكر	res cogitans
الشيء الممتد	res extensa

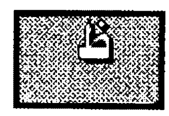


عربى	English
صفة الجوهر	attribute
صوتيات	acoustics
صورة	view
صورة ذهنية	image
صورى	formal
صورية	formalism
الصيرورة	becoming

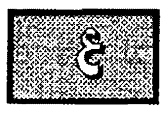
صيغة	version



طاقة	energy
طاقة الترابط	binding energy
طاقة الوضع	potential energy
طيف	spectrum
طيف خطي	line spectrum

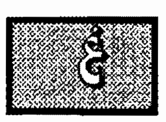


ظاهراتي	phenomenological
ظاهري	apparent

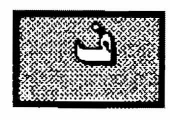


عابر	transient
عالم الشهادة	world of experience
عدد كماتي	quantum number
عدد مركب	complex number
عزم	determination
عزم زاو	angular momentum
عقيدة	dogma
عقل	reason
عقلي	rational
عَكُوس	reversible

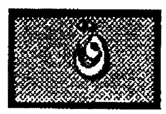
علة	cause
علية	causality
عماء	chaos
عمر	lifetime
عينيات	concreta
عينية	concreteness



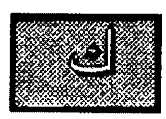
غائي	final
غرفة سحابية	cloud chamber
غموض	ambiguity



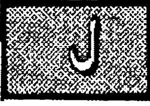
فئة	set
فرض	hypothesis
فضاء التشكيل	configuration space
فطري	innate
فكر	thought
فكرة	idea, view
فلطية	voltage
فهم	entendement
في ذاته	in itself
فيزياء	physics
فيزيقا	physics



rule قاعدة
a priori قبلى
division, partition قسمة
electronic shell قشرة إلكترونية
proposition, thesis قضية
force قوة

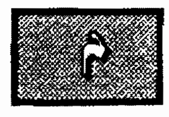


mass كتلة
rest mass كتلة السكون
point mass كتلة نقطية
quantum كم، كماتى
quantitative كمى
momentum كمية الحركة
quark كوارك
entity كيان
qualitative كيفى



indererminancy لاحتمية
irreversible لاعكوس
uncertainty لامحققية
lepton لبتون

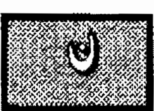
لف	spin.



مادية	materialism
المادية الجدلية	dialectic materialism
مايتجاوز الحقيقة	trans subjective
مبحث	theme
مبدأ	principle
متأصل	inherent
متذبذبات	oscillators
متساند	interdependent
متنافيان	mutually exclusive
متناهى	finite
مثال	paradigm
مثالية	idealism
مجرد	abstract
مجسم ثمانى	octahedron
مجسم رباعى	tetrahedron
مجسم منتظم	regular solid
محتوى	content
المحتوى المادى	substantative
مدار	orbit
مدرك حسى	percept
مذهب	doctrine
معرفة	episteme, knowledge
مقياس	parameter

question	مسألة
trajectory	مسار القذيفة
equality	مساواة
illata	مستدلات
postulate	مسلمة
illata	مستنبطات
term	مصطلح
self interest	مصلحة ذاتية
implied	مضمر
absolute	مطلق
parameter	مَعْلَم
notion	معنى
criterion	معيار
coexistence	معية
paradox	مفارقة
constructs	مفترضات
expansion	مفكوك
concept	مفهوم
premises	مقدمات
canonical	مقنن
space	مكان
logic	منطق
ex nihilo	من العدم
utility	منفعة
systematic	منهجى
conventions	مواضعات
wave	موجة

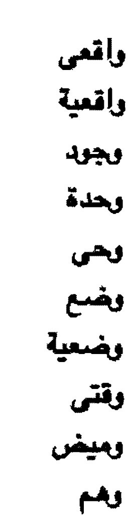
موجة كروية	spherical wave
موجة مرنة	elastic wave
موجود	being
موحد اللون	monochromatic
موضوع	object
موضوعى	objective
موقف	attitude



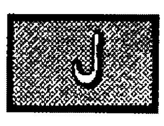
نزعة	tendency
نسبوى	relativistic
النسبية	relativity
نسق استنباطى	axiomatic system
نسق قيمى	value system
نظامى	institutional
نظر	speculation
نقيض	negation
نقيض القضية	anti-thesis
نقيضة	antinomy
نموذج	pattern, paradigm

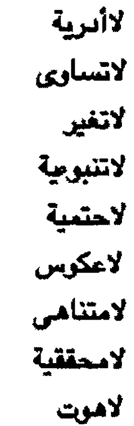


واحدية	monism
واقع	reality
واقعة	event, fact

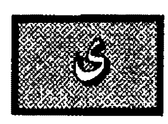


واقعي	factual, real
واقعية	realism
وجود	existence
وحدة	unity
وحي	revelation
وضع	situation
وضعية	positivism
وقتي	transient
وميض	scintillation
وهم	illusion





لاأدرية	agnosticism
لاتساوي	inequality
لاتغير	invariance
لاتنبوية	unpredictability
لاحتمية	indeterminacy
لاعكوس	irreversible
لامتناهي	infinite
لامحققية	uncertainty
لاهوت	theology



يقين	certainty